



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa

ESTUDIO Y DISEÑO DE UN ALIMENTADOR ELECTROMECAÁNICO PARA PRENSAS DE MATRIZ PROGRESIVAS

Proyecto de final de doble grado

Grados: Ingeniería electrónica industrial y automática / ingeniería mecánica

Alumno: David Alarcón Fernández

Director del grado de mecánica: Jordi Sans García

Director del grado de electrónica: Albert Masip Álvarez

10 DE JUNIO DE 2019

Resumen

En las líneas de producción el factor que suele ser más determinante es el tiempo que requiere cada operación para ser realizada. Paros por mantenimiento de componentes o velocidades de operación lentas son los contratiempos comunes que suelen darse en los sistemas de alimentación clásicos accionados enteramente por aire a presión para las prensas de matrices progresivas.

Los esfuerzos de este proyecto se han centrado en ofrecer una solución a este problema diseñando un alimentador que requiera del mínimo número de paros por mantenimiento posible y que consiga velocidades de operación deseables estudiando las tecnologías actuales y tomando las decisiones que mejor se adapten.

Para ello se ha realizado una propuesta de diseño del procedimiento de control y automatización de un sistema basado en un motor y dos pinzas que realizan el movimiento de arrastre que impulsa el elemento que se quiere alimentar, en este caso una banda de chapa metálica, usando los entornos de programación visual Simulink de Matlab para el control y el lenguaje Ladder para determinar las secuencias de automatización. También, mediante la determinación de una velocidad máxima de referencia y el cálculo de los esfuerzos que se deben realizar se ha llevado a cabo el dimensionado de los componentes que deben formar la máquina.

Usando el software de diseño Solidworks se ha realizado el diseño físico que describe los componentes finales que conforman el alimentador, una visión sobre su montaje y los sistemas utilizados para simplificarlo lo máximo posible, modelando las piezas que sujetan todo el conjunto dotándolo de rigidez y sobre las cuales se ha determinado un material que cumpla con las especificaciones de uso y un breve estudio económico sobre su fabricación. Para estas piezas se han realizado los planos correspondientes para su fabricación.

En definitiva, se ha realizado una máquina que opera a distintos niveles de velocidad y avance haciendo su aplicación más versátil según los requisitos de funcionamiento para aumentar la eficiencia del proceso de estampación de la banda.



1 Índice

Contenido del documento:

1	Índice.....	3
1.1	Índice de figuras.....	5
1.2	Índice de tablas.....	6
2	Introducción.....	7
2.1	Empresa.....	7
2.2	Estado actual.....	8
2.3	Alcance del proyecto.....	13
3	Definición del proyecto.....	14
3.1	Condiciones y requisitos de partida.....	15
3.2	Metodología.....	16
4	Capítulo 1. Marco teórico.....	17
4.1	Concepto básico de un alimentador.....	17
4.1.1	Función y criterios.....	17
4.1.2	Rodillos y pinzas.....	17
4.2	Opciones de control de la alimentación.....	18
4.2.1	Rodillos con control a prensa.....	18
4.2.2	Rodillos servo controlados.....	18
4.2.3	Pinzas auto suficientes.....	19
4.2.4	Pinzas servo controladas.....	19
4.3	Control.....	19
4.3.1	Neumático.....	20
4.3.2	Servo.....	20
4.4	Consideraciones para el sistema.....	21
4.4.1	Alimentador.....	21



4.4.2	Rodillos	22
4.4.3	Pinzas	22
4.4.4	Movimiento lineal.....	22
4.4.5	Control.....	23
4.5	Conclusiones de la investigación	24
5	Capítulo 2. Fase de conceptualización de producto	27
5.1	Sistema de avance.....	31
5.2	Formalización del producto	36
5.3	Control	38
5.3.1	Diagramas de secuencias	41
5.3.2	Programa	42
5.3.3	Proceso de modelado y diseño del controlador del motor	51
6	Capítulo 3. Fase de desarrollo de producto	60
6.1	Solución final.....	60
6.2	Propuesta formal.....	61
6.3	Definición técnica de componentes	64
6.3.1	Selección de materiales	64
6.3.2	Uniones i montajes	68
6.3.3	Elementos de control.....	69
6.3.4	Sensores y actuadores.....	71
7	Presupuesto	74
8	Conclusiones y desarrollo futuro	75
9	Bibliografía	76

1.1 Índice de figuras

Ilustración 1. Mat-Kontak S.L.....	7
Ilustración 2. Desbobinadora accionada por motorreductor, controlado mediante un sensor que arranca el motorreductor cuando no siente la presencia de la banda.....	8
Ilustración 3. Alimentador herrblitz y sus principales componentes.....	9
Ilustración 4. Modelo B050 desmontado.....	11
Ilustración 5. Mapa conceptual del proyecto.....	14
Ilustración 6. Secuencia de trabajo.....	28
Ilustración 7. Perfil de velocidades trapezoidal máximo.....	30
Ilustración 8. Medidas de la unidad devanadora.....	30
Ilustración 9. Distribución de peso de la banda.....	30
Ilustración 10. Mesa lineal TKK de Bosch Rexroth.....	32
Ilustración 11. Esquema de la acción de las mordazas.....	35
Ilustración 12. Concepto de diseño del alimentador.....	36
Ilustración 13. Sistema para indicar el inicio de ciclo.....	37
Ilustración 14. Posibilidades de sistema neumático.....	37
Ilustración 15. Sistema de detección de las pinzas.....	37
Ilustración 16. Esquema de control del motor.....	38
Ilustración 17. Ciclos de trabajo de un PWM.....	39
Ilustración 18. Método de control de un encoder incremental.....	40
Ilustración 19. Encoder incremental a la izquierda y absoluto a la derecha.....	40
Ilustración 20. Opciones de mando y manipulación del alimentador.....	41
Ilustración 21. Secuencia de movimientos realizada en un ciclo.....	41
Ilustración 22. Figura 1 del programa en Ladder.....	43
Ilustración 23. Figura 2 del programa en Ladder.....	44
Ilustración 24. Figura 3 del programa en Ladder.....	45
Ilustración 25. Figura 4 del programa en Ladder.....	46
Ilustración 26. Figura 5 del programa en Ladder.....	47
Ilustración 27. Figura 6 del programa en Ladder.....	47
Ilustración 28. Figura 7 del programa en Ladder.....	48
Ilustración 29. Bloque PWM de Unity Pro XL.....	48
Ilustración 30. Método interno del bloque para determinar el ciclo de trabajo.....	49
Ilustración 31. Descripción de parámetros del bloque PWM de Unity Pro XL.....	49
Ilustración 32. Diseño de la interface.....	50
Ilustración 33. Proyecto transferido a PLC con la secuencia esperando el inicio de ciclo.....	50
Ilustración 34. Estación de trabajo.....	51
Ilustración 35. Esquema electromecánico de un motor.....	52
Ilustración 36. Diagrama de bloques en lazo abierto.....	53
Ilustración 37. Transductor de frecuencia a tensión.....	53
Ilustración 38. Programa en simulink que compara datos reales con datos del modelo.....	54
Ilustración 39. Evolución temporal de la respuesta real.....	54
Ilustración 40. Datos relevantes de la respuesta real para obtener el modelo.....	55
Ilustración 41. Comparación de la respuesta real y el modelo.....	56

Il·lustració 42. Sistema con lazo cerrado.....	57
Il·lustració 43. Controlador dissenyat en simulink que actua sobre la planta real	58
Il·lustració 44. Resposta real de la planta controlada y diagrama de bode de los controladores	59
Il·lustració 45. Alimentador neumático montado a matriz accionado por electroválvula.....	60
Il·lustració 46. Vista general	61
Il·lustració 47. Vista en planta.....	62
Il·lustració 48. Vista posterior	62
Il·lustració 49. Disposición del motor.....	62
Il·lustració 50. Vista seccionada de una pinza	63
Il·lustració 51. Montaje del soporte para la pinza móvil	63
Il·lustració 52. Selecció de configuració del mecanismo y perfil de movimiento.....	69
Il·lustració 53. Especificaciones de carga.....	69
Il·lustració 54. Especificación del perfil de movimiento.....	70
Il·lustració 55. Resultados de configuraciones Regulador+Motor.....	70
Il·lustració 56. Datos técnicos de la pinza.....	71
Il·lustració 57. Datos técnicos del sensor de posición	72
Il·lustració 58. Datos técnicos de los límites de carrera.....	73
Il·lustració 59. Tipo de electroválvula escogida.....	73

1.2 Índex de taulas

Tabla 1. Serie Normal	10
Tabla 2. Serie Mediana	11
Tabla 3. Dimensiones y costes.....	12
Tabla 4. Tabla comparativa de opciones de arrastre.....	24
Tabla 5. Tabla comparativa de opciones de accionamiento	25
Tabla 6. Tabla comparativa de opciones de montaje	26
Tabla 7. Tabla comparativa de opciones de control	26
Tabla 8. Componentes principales.....	27
Tabla 9. Características de la banda.....	30
Tabla 10. Descripción de las partes de la mesa lineal.....	32
Tabla 11- Datos para el cálculo de la mesa lineal	32
Tabla 12. Cálculos de la mesa lineal.....	34
Tabla 13. Parámetros de entrada del autómata	42
Tabla 14. Parámetros de salida del autómata.....	42
Tabla 15. Requisitos mecánicos de cada parte	64
Tabla 16. Obtención del coste del bruto de acero F114 según catálogo de Abrams	66
Tabla 17. Obtención del coste del bruto de acero F521 según catálogo de Abrams	66
Tabla 18. Obtención del coste del bruto de acero F125 según catálogo de Abrams	66
Tabla 19. Elementos normalizados utilizados.....	68
Tabla 20. Tabla de presupuesto general	74

2 Introducció

En este apartado se ofrece el contexto en el que se desarrolla el proyecto, determinando los datos de partida sobre los que se debe fundamentar y analizando los sistemas utilizados actualmente así como la justificación del cambio de tecnología utilizada.

2.1 Empresa

Este proyecto de final de grado se lleva a cabo para la empresa Mat-Kontak S.L. situada en Terrassa, la cual lo analizará y determinará si el proyecto es realizable.

Mat-Kontak es una empresa especializada en la producción de componentes metálicos por estampación, especializándose en terminales eléctricos para el sector del conexionado además de en otros sectores en los que se requieran pequeñas piezas metálicas. Otra parte de su negocio consiste en la fabricación de utillajes para el sector del cableado como pueden ser engastadores de dichos terminales y procesadores y equipos para la comprobación de las propiedades mecánicas de los cables.

La empresa dispone del equipo de estampación necesario compuesto por prensas y taller de matriceria, ya que también se encarga del diseño y la fabricación de las matrices necesarias, ya sean progresivas o no progresivas, para la producción de las piezas y de utillajes especiales.

La razón de ser de este estudio se debe a que la empresa busca expandir su ámbito de fabricación en cuanto a la línea de producción se refiere, teniendo la intención de producir el diseño y la fabricación de los alimentadores cuya función consiste en hacer avanzar la banda metálica hacia las matrices, ya que actualmente necesita comprar alimentadores de fabricantes externos para realizar esta función.



Il·lustració 1. Mat-Kontak S.L.

2.2 Estado actual

El sistema de alimentación actual del que dispone la empresa consta de dos partes: el sistema para desenrollar la bobina y aligerar cargas al alimentador y el sistema alimentador que hace avanzar la banda hacia el interior de la matriz para ser tratada. Este proyecto centrará la atención en la segunda parte pero tendrá en consideración la primera en futuros apartados ya que influirá a la hora de realizar cálculos.

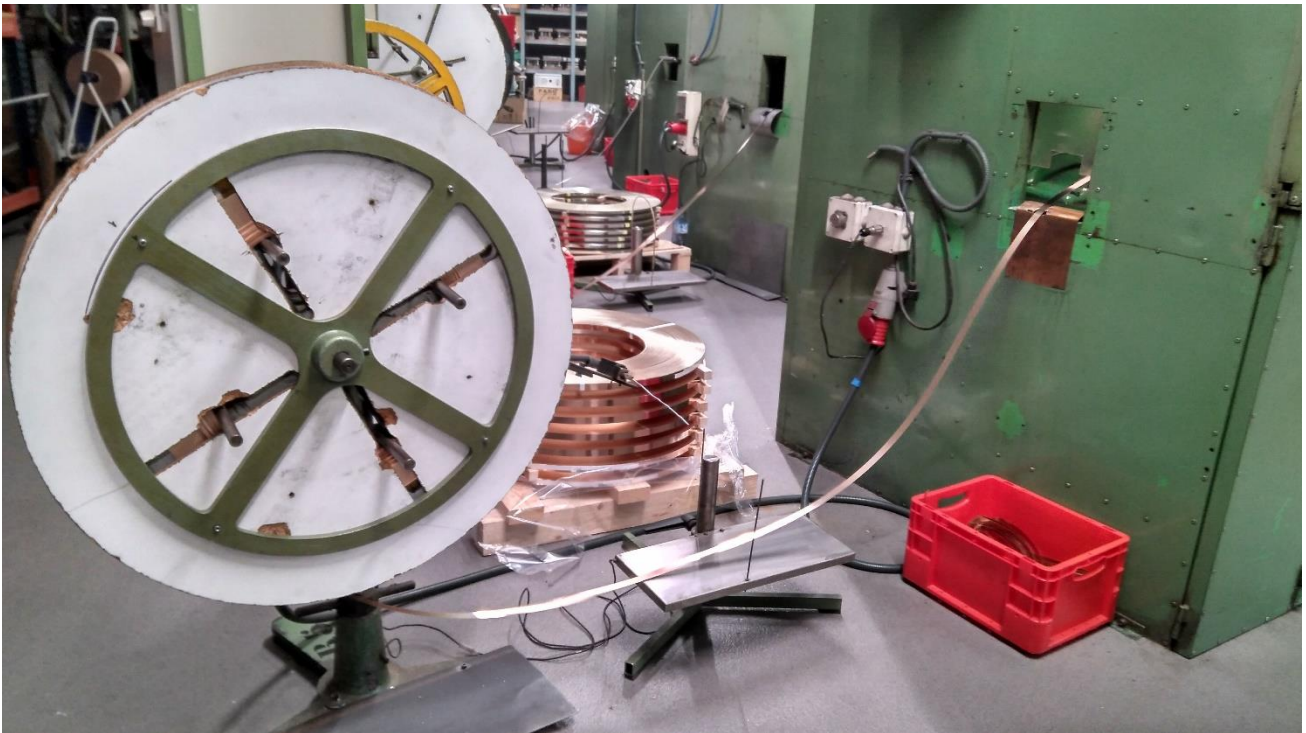


Ilustración 2. Desbobinadora accionada por motorreductor, controlado mediante un sensor que arranca el motorreductor cuando no siente la presencia de la banda.

Los alimentadores utilizados son alimentadores de la casa “herrblitz” accionados mediante tecnología neumática. Se componen de una estructura rígida que hace las veces de guía de una pinza móvil accionada mediante un émbolo y de soporte para una pinza fija, ambas pinzas accionadas mediante aire también.

Son alimentadores de geometría compacta y sencilla que se montan directamente sobre la base de la matriz, lo cual ofrece soluciones a inconvenientes que se podrían ocasionar si el alimentador estuviese montado sobre la mesa de la prensa, tales como dobleces en el fleje entre el sistema de alimentación y la matriz que podrían ocasionar imprecisiones en el avance.

Por tanto, a la hora de diseñar una matriz, esta se debe adaptar a la geometría del alimentador, habiendo de reservar una zona para poder colocar el alimentador y otra zona para poder hacer posible la comunicación y sincronización entre la válvula accionadora del alimentador y el movimiento de la matriz.

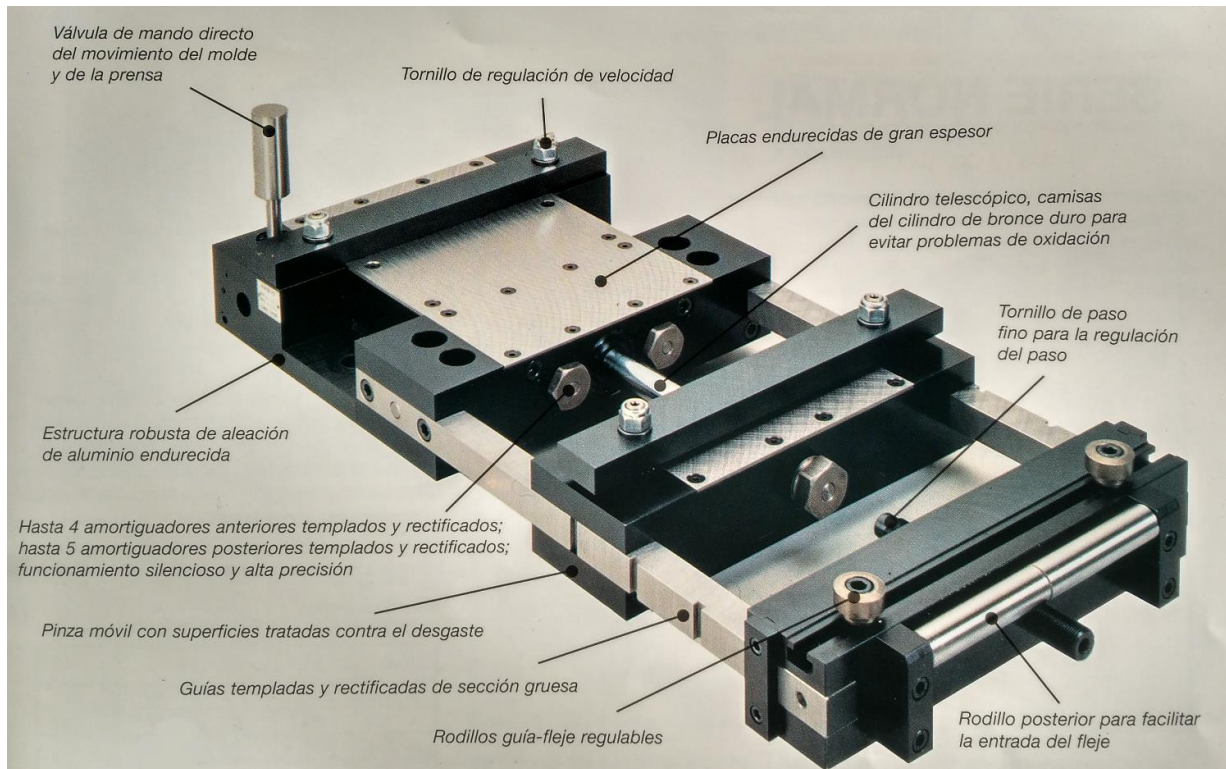


Ilustración 3. Alimentador herrblitz y sus principales componentes

No solo pueden ser accionados mediante el movimiento de la matriz, también tienen la capacidad de ser controlados a distancia mediante una electroválvula o una neumoválvula.

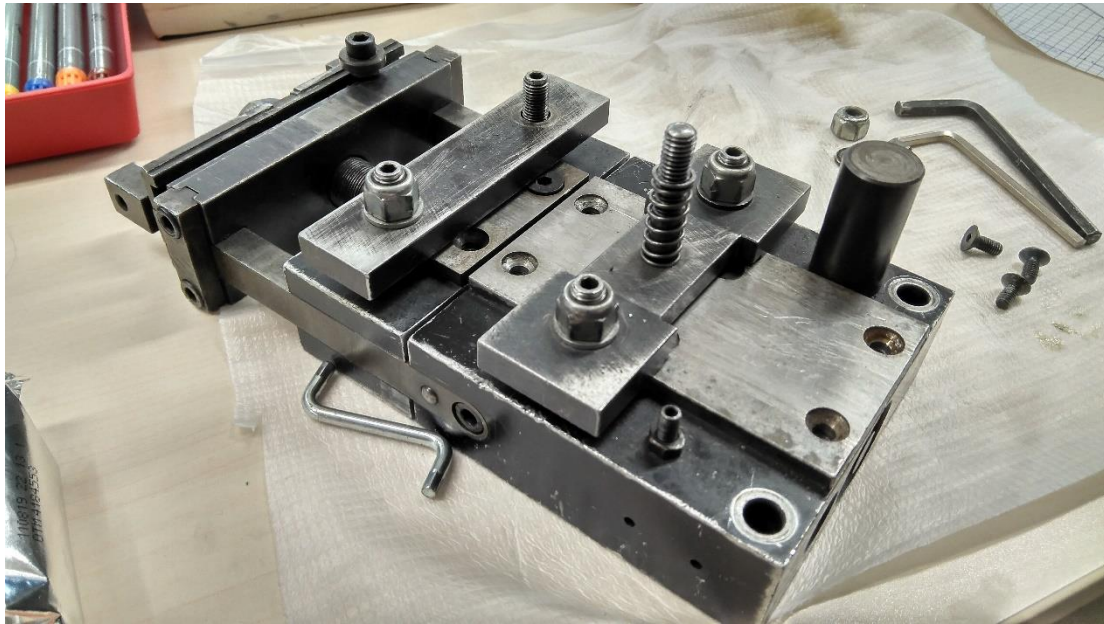
Como se puede ver en la figura contigua, la válvula que acciona el movimiento del alimentador está conectada a un microinterruptor dispuesto en la parte superior de la prensa, de modo que cuando baja hasta colocarse en una posición determinada el microinterruptor se activa abriendo la neumoválvula y haciendo retroceder la pinza hasta que la prensa deja de estar en esa posición, momento en que la pinza hace avanzar la chapa.

La tabla de datos técnicos que acompaña al modelo de la serie normal, que es el tipo de alimentador que la empresa suele adquirir dadas las características de los materiales que se suelen tratar, es la siguiente:

Tipo	Anchura max banda mm.	Carrera mm.	Espesor banda mm.	Ciclos/min.	Presión pinza fija Kg.	Presión pinza móvil Kg.	Fuerza Tracción Kg.	Consumo Litros/min.	Peso Kg
A 050	50	50	1.90	280	64	120	24	50	3.09
A 100		100	1.80	200				71	4.08
A 150		150	1.50	160				80	5.07
A 200		200	1.30	130				85	6.01
A 250		250	1.10	110				90	7.03
B 050	75	50	1.80	260				46	4.08
B 100		100	1.70	190				67	5.08
B 150		150	1.60	150				78	6.08
B 200		200	1.20	110				77	7.08
B 250		250	1.10	90				78	8.08
C 050	100	50	1.70	210				37	5.06
C 100		100	1.50	160				56	6.06
C 150		150	1.40	120				68	7.08
C 200		200	1.30	90				63	9.00
C 250		250	1.20	80				70	10.01

Tabla 1. Serie Normal

La mayoría de piezas que se deben troquelar no superan una carrera de 100 mm. salvo contadas excepciones, por lo tanto la amplia mayoría de alimentadores que se utilizan son del tipo A 050, A 100, B 050, B 100, C 050 o C 100.



Il·lustració 4. Modelo B050 desmontado

También hay casos en los que se requiere trabajar con bandas de mayores dimensiones y por lo tanto mayores fuerzas de trabajo en cuyos casos se utilizan alimentadores de la serie mediana cuya característica que los diferencia de los normales es la de poseer unas dimensiones mayores. Su tabla es la siguiente:

Tipo	Anchura max banda mm.	Carrera mm.	Espesor banda mm.	Ciclos/min.	Presión pinza fija Kg.	Presión pinza móvil Kg.	Fuerza Tracción Kg.	Consumo Litros/min.	Peso Kg
BX 050	75	50	2.20	260	70	157	41	64	6.2
BX 100		100	2.00	160				92	7.7
CX 050	100	50	2.00	240				61	7.3
CX 100		100	1.80	170				87	8.8

Tabla 2. Serie Mediana

La comparativa de precios y sus dimensiones entre las series es la siguiente:

Tipo	Dimensiones (mm.) (longitud x ancho x altura)	Precio (€)
A 050	238x107x39	950
A 100	338x107x39	1200
B 050	238x132x39	1150
B 100	338x132x39	1450
C 050	238x157x39	1260
C 100	338x157x39	1580
BX 050	255x140x45	1310
BX 100	355x140x45	1615
CX 050	255x165x45	1415
CX 100	355x165x45	1725

Tabla 3. Dimensiones y costes

A pesar de que la empresa ha utilizado siempre este tipo de alimentadores y cumplen con su cometido de manera satisfactoria, los alimentadores neumáticos accionados mecánicamente se consideran una tecnología en declive. La introducción al sector de sistemas automáticos servo-controlados ha ido desbancando el sistema mecánico. Inicialmente la utilización de servos no compensaba por su elevado coste, pero con el tiempo el sector ha comprendido que ese coste se ve retribuido en menores tiempos de mantenimiento y puesta en marcha. Un alimentador neumático necesita varias pruebas de ensayo y error antes de ponerse en marcha lo cual afecta considerablemente a los tiempos de producción y todo el sistema de aire a presión interior del alimentador requiere unos cuidados. Con la tecnología servo se ahorran estos tiempos y además se consigue una precisión mayor a la hora de posicionar la banda dentro de la matriz en cada periodo de avance.



2.3 Alcance del proyecto

Marco teórico:

- Definición de la máquina
- Descripción de su funcionamiento
- Tecnologías utilizadas para hacer posible el avance de la banda.

Estudio del estado actual:

- Descripción y comprensión de la tecnología en uso en la empresa y los sistemas utilizados.

Comparativa y selección de las diferentes decisiones:

- Componentes mecánicos y electrónicos
- Diseño, montaje
- Sistema de control, accionamiento.

Planos del diseño:

- Establecimiento de un código para organizar los planos y hacer entendible su relación entre sí.

Programas de automatizado e interfaz máquina-humano:

- Lenguaje utilizado para la programación
- Sistema utilizado para que la máquina sea controlada fácilmente por un operario.

Pliego de condiciones

Quedará fuera del ámbito de estudio la implementación de un sistema de seguridad automático para el alimentador ya que este está dispuesto en un espacio difícilmente accesible y porque la prensa ya dispone de este tipo de sistema.

Tampoco se tendrá en cuenta el estudio del tiempo de ciclo de la solución futura aunque sí se estudiará el tiempo de ciclo del sistema actual.

El proyecto se centra únicamente en el estudio y en el concepto de la máquina por lo que su realización física no se llevará a cabo a corto plazo.

3 Definición del proyecto

Se debe diseñar un alimentador electromecánico para prensas de matriz progresivas con el fin de controlar de manera más exhaustiva la producción; actualmente se dispone de alimentadores neumáticos para la tarea. El proyecto se desarrollará en la empresa MAT-KONTAK, dedicada a la producción de piezas de chapa para conexiones eléctricas y el producto irá destinado para su uso en la misma empresa, con opción de venta a terceros que se debe estudiar. El objetivo del proyecto es la realización de un diseño factible de alimentador a rodillos o a pinzas con un control electrónico mediante PLC que permita regular el paso de carrera y la velocidad mediante dispositivos servo-pilotados para conseguir una precisión máxima.

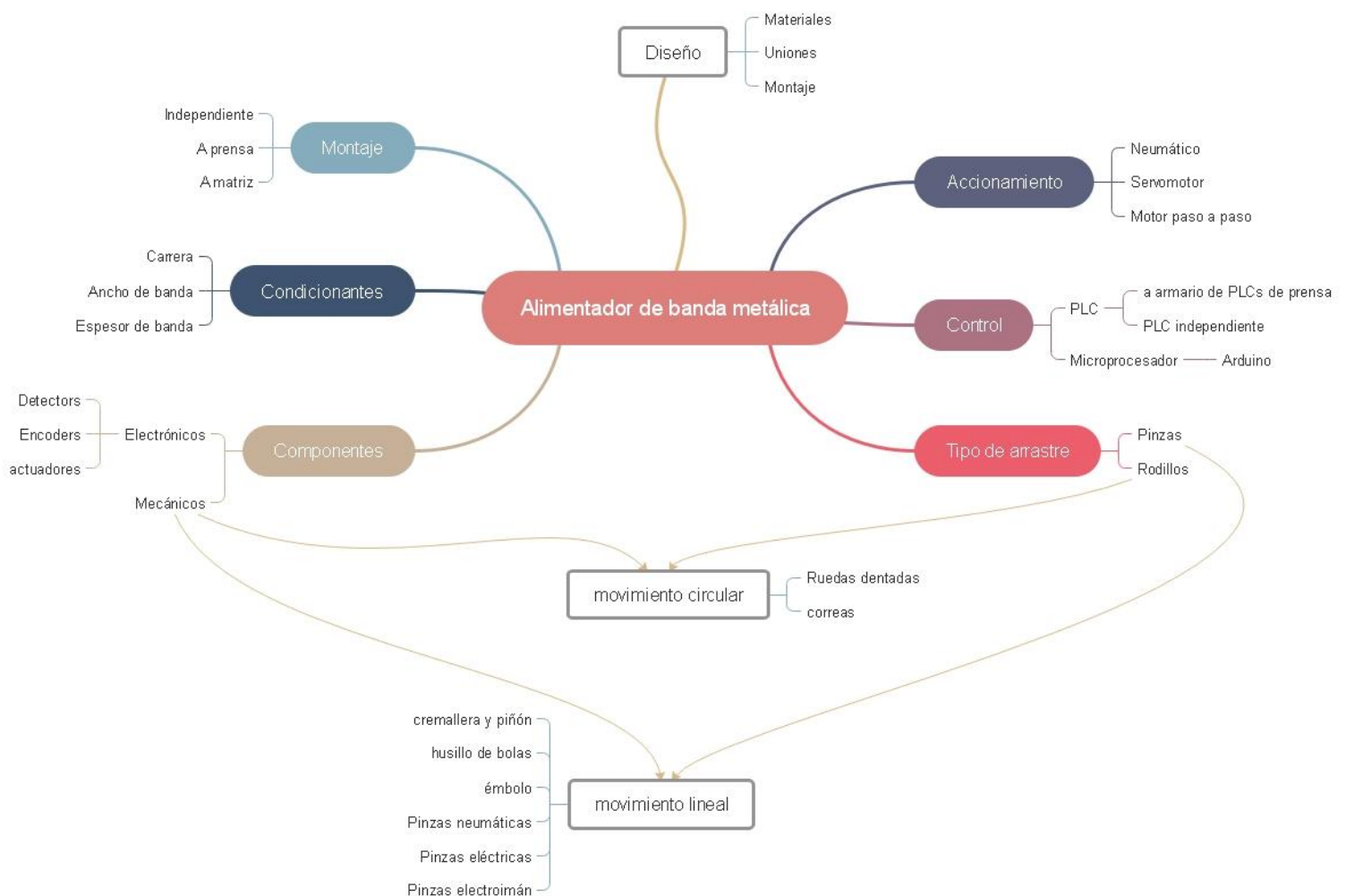


Ilustración 5. Mapa conceptual del proyecto

3.1 Condiciones y requisitos de partida

Para poder llegar a un producto final realista se tendrán en cuenta una serie de especificaciones que determinarán el diseño y la construcción de la máquina. Estas especificaciones tienen que ver con el aspecto funcional y la adecuación a los elementos ya existentes en el taller con los cuales ha de interactuar.

- 1) El alimentador debe admitir bandas hasta 2 milímetros de espesor y entre 70 y 100 milímetros de ancho. Normalmente se suelen trabajar con espesores máximos de banda de 1,5 milímetros y anchos de 30 – 50 milímetros.
- 2) El alimentador debe proveer un paso máximo de 50 milímetros de avance pudiendo ser regulable según sea necesario.
- 3) El alimentador debe responder con una velocidad óptima para poder trabajar de forma sincronizada con la prensa.
- 4) Las prensas del taller trabajan con una fuerza máxima de 200 toneladas de presión. El alimentador debe sujetar firmemente la banda para la prensa actúe de forma correcta.
- 5) Los alimentadores servo-controlados normalmente suelen tener un coste entre 8.000 y 12.000 €. En este proyecto se intentará que el alimentador producido se encuentre en este rango de precios.
- 6) El diseño debe ser sencillo para poder reducir costes lo máximo posible a la hora de fabricar los componentes. La selección de materiales también tendrá un impacto en esta condición.
- 7) Las dimensiones finales de la máquina deben adaptarse de forma realista al espacio disponible en la sala de máquinas. Esto determinará el tipo de anclaje entre la prensa y el dispositivo de alimentación.

3.2 Metodología

El desarrollo del proyecto se dividirá en tres bloques: **Búsqueda de información**, **Conceptualización** de la máquina y **Desarrollo** del concepto llevado a la realidad.

- En la **búsqueda de información** se recopilarán datos acerca de los tipos de alimentadores que se han desarrollado con el tiempo, la justificación de su uso y las problemáticas que han surgido a la hora de innovar en este sector. También sobre el tipo de control con el que se han gobernado los alimentadores destacando el control mecánico y la tecnología servo.
- En la parte de **conceptualización** se escogerá una de las tipologías estudiadas en el apartado anterior justificando el porqué de su elección y se llevarán a cabo los cálculos mecánicos y los cálculos para el control automático que servirán para dimensionar los componentes más adelante. También se determinará la secuencia que debe realizar el automatismo así como su ejecución mediante un software de programación de autómatas y las diferentes opciones de manejo que debe ofrecer para su correcto funcionamiento.
- En el apartado de **desarrollo** se utilizarán los cálculos obtenidos anteriormente para escoger los componentes que harán avanzar la banda y se llevará a cabo una propuesta formal de diseño en la que se podrán observar y realizar una justificación de los componentes escogidos, como se lleva a cabo su montaje y aspectos como la selección óptima de los materiales que conformarán la estructura así como un presupuesto final que englobe los costes del proyecto.

4 Marco teórico

Este apartado ayudará a definir el concepto del proyecto aportando conocimiento sobre las tecnologías utilizadas en este tipo de máquinas desde que se empezaron a emplear.

4.1 Concepto básico de un alimentador

4.1.1 Función y criterios

- Mover la banda con dirección hacia la matriz
- Alinear la banda para su correcta inserción en la matriz
- Flexibilidad en cuanto a compatibilidad con diferentes tipos de banda. Se debe adaptar a un cierto rango de espesores, anchos y materiales.
- La precisión en el avance es un factor importante, por lo tanto el sistema debe ser rígido, bien alineado y perpendicular a la matriz.
- La sincronización con la prensa es esencial para poder realizar un trabajo conjunto eficiente. En este caso se deben tener en cuenta la frecuencia de golpes de la prensa y el diseño de la matriz, ya que a diferentes pasos pueden variar o la velocidad o el tiempo de alimentación.

4.1.2 Rodillos y pinzas

Los dos sistemas más extendidos para llevar a cabo la acción de avance de la banda son los rodillos y las pinzas.

La base de funcionamiento de los rodillos consiste en colocar dos rodillos cilíndricos uno encima del otro de forma que sus ejes estén paralelos al suelo. Uno de estos rodillos está fijo en su posición accionado mediante un motor eléctrico o mediante aire a presión, mientras que el otro ejerce una fuerza sobre el rodillo fijo mediante muelles o un sistema neumático, de esta forma se ejerce una fuerza de sujeción que mantiene la banda entre los dos rodillos. Cuando se hace girar el rodillo fijo, la fricción hace avanzar la banda al encontrarse aprisionada entre los dos rodillos.

En el caso de las pinzas su base de funcionamiento también consiste en hacer uso de la fricción estática de los materiales. Consta de tres partes: Una pinza fija, una pinza móvil y un sistema de avance lineal. Los alimentadores de pinzas más

extendidos utilizan un sistema de aire comprimido que sincronizan estas tres partes. El ciclo de los alimentadores de pinzas consta de 6 pasos:

- Apriete de la pinza móvil
- Liberación de la pinza fija
- Avance de la pinza móvil
- Apriete de la pinza fija
- Liberación de la pinza móvil
- Retroceso de la pinza móvil

4.2 Opciones de control de la alimentación

4.2.1 Rodillos con control a prensa

Es considerada tecnología antigua. Consiste en acoplar una leva a la prensa para que accione el alimentador a cada vuelta del motor. La sincronización se produce independientemente de la velocidad de golpeado de la prensa, es decir, debido a que el movimiento del alimentador es dependiente de la prensa, se puede adaptar a cualquier velocidad dentro de unas limitaciones. Por este motivo es un buen sistema para altas velocidades pero tiene el inconveniente de tener dificultades para controlar el paso, ya que el tiempo de contacto entre prensa y alimentador puede variar en algunas décimas de segundo.

4.2.2 Rodillos servo controlados

Los sistemas servo controlados implican el uso de un controlador de posición en control cerrado para tener datos en todo momento del recorrido llevado a cabo por la banda. Este tipo de unidades comienzan su movimiento a partir de una señal de la prensa, ante la cual llevan a cabo un ciclo programado y después vuelve a su posición de reposo. Debido a ser dependientes de la prensa tienen un tiempo máximo para poder llevar a cabo el ciclo, por lo que al depender de la velocidad de la prensa conviene planear tiempos de ciclo pequeños. La velocidad de alimentación es un factor que va en función de la potencia que es capaz de suministrar su correspondiente servo drive, mientras que los alimentadores con control a prensa pueden ir tan rápido como vaya la prensa.

4.2.3 Pinzas auto suficientes

Pueden estar accionadas mediante sistemas neumáticos o hidráulicos. El funcionamiento del conjunto se basa sobre todo en interacciones puramente mecánicas utilizando topes manuales, o fuerza suministrada por resortes. El paso de estas pinzas es variable manualmente haciendo girar un tornillo que permite o limita más o menos el desplazamiento de la pinza móvil. Para realizar estos ajustes es necesaria la utilización de herramientas lo que implica hacer pruebas mediante ensayo y error. Este tipo de pinzas son las más económicas debido a su simplicidad pero debido a su construcción con piezas móviles que con el tiempo se ven desgastadas requieren de un mantenimiento continuo que en conjunción con las imperfecciones del mecanismo de aire a presión de su interior (bajadas de presión, escapes) hacen que se deba invertir costes en su manutención.

4.2.4 Pinzas servo controladas

Su sistema de control es el mismo que para los rodillos servo controlados, pero a diferencia de las pinzas autosuficientes, esta variante no precisa de topes manuales ni mecanismos que se deban ajustar mediante ensayo y error. El sistema lineal en este caso ofrece una gama de posibilidades más amplia pudiendo utilizar cilindros neumáticos o un motor acoplado a un husillo de bolas. La única interacción que se debe hacer con la máquina en esta opción de alimentación es introducir los parámetros en el sistema de control y este se encargará de posicionar la pinza móvil teniendo también la posibilidad de interactuar con la prensa.

4.3 Control

Cuando se introdujo el concepto de alimentadores servo controlados al principio hubo mucho escepticismo al respecto ya que en sus etapas tempranas los costes eran más elevados en comparación a los alimentadores neumáticos tradicionales, pero con el tiempo, el desempeño más eficiente de los servos, su mantenimiento prácticamente nulo y la reducción de costes en su fabricación, los servos han ido ganando terreno. Con servos se puede llegar a alcanzar una velocidad estándar de 300-400 GPM (golpes por minuto) y una precisión con un rango de 0,1 mm.

4.3.1 Neumático

El control tradicional consiste en sincronizar mecánicamente el movimiento de la prensa con el del alimentador. Esto se ha llevado a cabo normalmente mediante un pulsador integrado en los alimentadores tradicionales cuyo accionamiento al bajar la prensa abre unas válvulas que permiten que se produzca el movimiento de avance. Este tipo de control es lo suficientemente inconstante como para que la banda avance con una longitud de avance que puede variar. Es posible la utilización de elementos que ofrecen una respuesta más rápida a un estímulo como pueden ser electroválvulas conectadas a un micro interruptor acoplado a la prensa, pero aun así no hay un sistema de control externo que supervise el funcionamiento óptimo; se mejora en velocidad y tiempo de ciclo pero no se arregla el problema de la inconstancia.

4.3.2 Servo

Mediante la utilización de motores AC sin escobillas se mejora el rendimiento ya que no hay partes que se puedan desgastar por el roce por lo que se optimiza el tiempo tanto de ciclo como de mantenimiento. El sistema de control en este caso se puede llevar a cabo estableciendo la comunicación tanto con la prensa como con sistemas externos lo que permite una mejor optimización del tiempo. En este caso se conectan los elementos de sensado del estado de la prensa, de la posición actual de la banda del estado de las pinzas, de los grados de los rodillos, etc en el puerto de entradas digitales de un PLC que se encarga de controlar el ciclo cerrado y llevar a cabo la secuencia de movimientos de forma automática, sacando esta información por un puerto de salidas digitales conectadas al motor, pinzas, y otros actuadores.

4.4 Consideraciones para el sistema

Con las diferentes opciones de alimentadores cubiertas y teniendo el concepto de cómo trabaja cada una, se deben considerar los elementos que forman parte de estas opciones y buscar diferentes alternativas que puedan cumplir con las funciones de dichos elementos. También se deben contemplar las problemáticas que pueden surgir a raíz de una alimentación deficiente aparte de no conseguir las velocidades o los recorridos requeridos.

Uno de los problemas que pueden surgir a la hora de alimentar una banda en una matriz progresiva es la pérdida de tensión justo antes de entrar en la matriz. Esto puede provocar un pandeo en la banda que además de variar el paso de avance y afectar a la geometría final de la pieza también puede llegar a ocasionar colisiones debido al aumento del pandeo y la acumulación de banda a la entrada de la matriz que pueden llegar a romper los punzones y dañar la matriz. Este defecto se puede evitar reduciendo al máximo la distancia entre alimentador y entrada de la matriz. Para cuando esto no es posible, también se pueden colocar sensores de posición en las placas de la matriz progresiva que miden una distancia cuando la matriz está cerrada. Es un sistema muy preciso, y si la banda se dobla en la matriz, el sensor lo detectará de inmediato. El inconveniente de estos dos métodos es que si se produce un problema de alimentación incorrecta, para cuando lo detecte, será demasiado tarde para detener la prensa.

4.4.1 Alimentador

El montaje de los alimentadores se puede hacer en la entrada de la matriz o en la salida, lo que se denomina como alimentación “push” y “pull” respectivamente. En el caso particular de este proyecto hay veces que la salida de las piezas desde la matriz no se produce en banda sino que se lleva a cabo produciendo piezas individuales. Es por este motivo que el alimentador a diseñar será tipo “push”.

4.4.2 Rodillos

En ocasiones la banda a trabajar puede venir con un tratamiento superficial necesario para el producto final. Por eso el procesado de estas bandas se ha de prever teniendo en cuenta esta consideración.

Los rodillos en este caso acostumbran a llevar un recubrimiento cromado mate que proveen la tracción necesaria a la banda para su avance protegiendo su superficie a la vez. También se disponen de sistemas mecánicos y neumáticos que utilizan muelles o aire a presión que contrarrestan el peso del rodillo superior para así poder regular la fuerza que se aplica.

Las pinzas también pueden alimentar de forma efectiva este tipo de superficies pero pueden llegar a dejar marcas en la zona de contacto si se aplica una fuerza excesiva.

4.4.3 Pinzas

Para el sistema de pinzado se pueden considerar la opción neumática y la eléctrica. En el primer caso se pueden aplicar émbolos que respondan ante válvulas controladas digitalmente (electroválvulas) o mecánicamente mediante el movimiento de la propia prensa. Este tipo de diseños existen comercialmente para adquirirlos de forma independiente al uso que se les vaya a dar en forma de pinzas paralelas usadas comúnmente en aplicaciones de robótica. De la misma manera existe la variante eléctrica la cual también está accionada digitalmente pero actúan mediante motores integrados que proveen la fuerza.

4.4.4 Movimiento lineal

En el caso de utilizar un alimentador de pinzas se deberá disponer de un actuador que provea del movimiento de avance. De igual forma que las pinzas, existe la opción neumática y eléctrica. Con cilindros de simple o doble efecto accionados mediante válvulas sobre los que se monta un bloque en el que se coloca la pinza, que se desliza sobre unos raíles, es la forma tradicional de montar los alimentadores neumáticos. Otra opción es emplear un motor acoplado a un husillo de bolas o a un piñón sobre una cremallera.

4.4.5 Control

Los servos actúan a partir de las señales provistas por la computadora dotando de gran precisión y rapidez al sistema. El servo puede servir tanto para el movimiento de avance de la banda como para la actuación de otros componentes como pueden ser pinzas servocontroladas. Los servomotores se controlan mediante lazo cerrado, lo que permite hacer un control de las diferentes variables (posición, velocidad, aceleración, torque) no sólo en función de los datos de entrada de la computadora sino también de los datos de salida mediante sensores. Esto permite que el sistema sea más flexible y capaz de reaccionar si el resultado que se está obteniendo no es el esperado.

El servomotor trabaja en función del paso y el tiempo en el cual se debe llevar a cabo este desplazamiento. Para esto se debe determinar el perfil de movimiento que debe llevar a cabo el servomotor. En dichos perfiles se observa el comportamiento de la velocidad en función del tiempo para determinar las aceleraciones necesarias. En el caso de este proyecto se llevarán a cabo estudios con perfiles de movimiento trapezoidal que corresponderían al comportamiento que deben llevar a cabo los motores (aceleración – velocidad constante - deceleración) para hacer avanzar la banda. Se debe tener cuidado con los cambios bruscos de velocidad de la curva ya que estos cambios súbitos pueden pegar latigazos en el sistema o rayar la banda.

Los elementos de control a tener en cuenta son los siguientes:

Gestión de datos	PLC – (Sistema de alimentación – Bus de comunicaciones – Bus de entradas/salidas digitales)
Recolección de datos	Encoders (circulares/lineales), sensores (inductivos/magnéticos/capacitivos – de posición,)
Actuadores	Microinterruptores, electroválvulas, Servomotores

4.5 Conclusiones de la investigación

En general se puede comprobar que todos los sistemas de alimentación basan su principio de funcionamiento en la fricción para interactuar con la banda. Independientemente de la tipología (rodillos o pinzas), ambas se componen de dos partes, la parte de avance lineal y la parte de fijación de la banda. Se requiere por tanto un sistema rígido para que no exista un juego que permita a la banda poder realizar movimientos no deseados.

A continuación se ofrecen tablas comparativas para poder hacer una selección de los sistemas que mejor se adapten a las necesidades del proyecto dónde el color rojo significa una desventaja, el verde una ventaja y el gris es indiferente:

Arrastre

Rodillos	Pinzas
Movimiento circular	Movimiento lineal
Dimensiones mayores	Dimensiones contenidas
Menos componentes a controlar	Más componentes a controlar
Ciclo de trabajo 360°	Ciclo de trabajo 180°
Costes mayores	Costes menores
Carreras más flexibles	Carrera limitada

Tabla 4. Tabla comparativa de opciones de arrastre

El movimiento lineal de las pinzas supone una ventaja porque ese movimiento es directamente el que debe producir la banda, por lo que el control de posición será más directo que al traducir el movimiento del rodillo en lineal, ya que cambios de rodillo o pequeñas alteraciones de dimensiones pueden conllevar distorsiones en las tolerancias. En el arrastre por pinzas hay 3 elementos a controlar, el avance lineal, la pinza móvil y la pinza fija a diferencia de en los rodillos cuyo control se limita a el movimiento circular y la presión sobre la banda, pero al solo ser un componente de más, no es un criterio de peso para descartar las pinzas. También la carrera es más limitada, pero al no necesitar carreras excesivamente grandes este vuelve a ser un criterio descartable. La única desventaja de peso que ofrecen las pinzas es

que de todo su ciclo de trabajo solamente es útil la mitad, ya que el avance es aprovechable pero el retroceso de la pinza es trabajo no aprovechable que aumenta el tiempo de ciclo, pero al tratarse las carreras de apenas unos centímetros, produciendo velocidades mayores se puede contrarrestar esta contrariedad.

Accionamiento

Neumático	Eléctrico
Menor precisión	Precisión mayor
Respuesta más rápida	Respuesta más lenta
Fuerzas elevadas	Similar, con más tensiones internas
Fricciones internas mínimas	Rozamiento mecánico entre piezas
Más económico	Costes elevados

Tabla 5. Tabla comparativa de opciones de accionamiento

Habiendo elegido el arrastre a pinzas se deberán tener en cuenta los 3 actuadores mencionados anteriormente:

	Precisión	V. reacción	Fuerza
Pinzas	x	✓	✓
Actuador lineal	✓	✓	✓

Para el actuador lineal, previsiblemente la fuerza de empuje será menor que la fuerza de agarre de las pinzas; esto junto a la necesidad de precisión, hace que la opción eléctrica sea aparentemente la más adecuada. El inconveniente aquí es la velocidad de reacción, la cual debe ser capaz de sincronizarse con la velocidad de la prensa. Para la fase de conceptualización se estudiará un actuador eléctrico para el avance lineal y se comprobará si cumple los requisitos de tiempo satisfactoriamente. Para las pinzas, todos los criterios indican que la mejor opción será la implementación de un actuador neumático.

Montaje

A prensa	A matriz
Mejor manipulación	Dificultades de manipulación
Banda alejada de matriz	Contacto inmediato de banda con matriz
Dimensiones mayores	Economía del espacio
Menor rigidez	Compacto

Tabla 6. Tabla comparativa de opciones de montaje

Teniendo en cuenta como criterios principales el ahorro de espacio y los defectos que se pueden producir en la banda, comentados en el apartado de consideraciones, se diseñará una máquina con las dimensiones lo más contenidas que se puedan conseguir para que el montaje pueda hacerse a matriz.

Control

Mecánico (tradicional)	Digital
Regulación Ensayo/error	Movimiento programable
Dependiente de la prensa	Independiente de la prensa
Comunicación por contacto de piezas	Comunicaciones rápidas
Supervisión del operario	Autodiagnóstico y corrección
Versatilidad limitada por componentes	Mayor versatilidad
Desgaste del automatismo	Automatismo virtual

Tabla 7. Tabla comparativa de opciones de control

Como se puede apreciar, y como justificación del motivo de este proyecto, el control digital ofrece mayores ventajas que el tradicional. La inversión inicial es elevada en cuanto a la instalación de un sistema digital en comparación a uno tradicional, pero el coste de mantenimiento continuo del tradicional hace que al cabo de un tiempo el digital quede amortizado.

5 Fase de conceptualización de producto

En este apartado se realizarán los dimensionamientos de los componentes, el estudio del sistema de control y la propuesta de diseño que definirán las bases del proyecto. Toda la fase de concepto de la máquina se realizará en base a las condiciones máximas a las que tendrá que trabajar.

Componentes principales de la máquina:

Motor (Brushless)	Elemento de potencia para activar el movimiento de la mesa lineal.
Servodrive	Responsable de suministrar la potencia eléctrica necesaria para accionar el motor. También ofrece la opción de control de velocidad, posición y par.
Mesa lineal	Construcción formada por una superficie móvil montada sobre guías por las que se desplaza siendo empujada por un husillo lineal accionado por el motor
Pinzas	Pinzas robóticas que serán accionadas mediante aire comprimido.
Controlador lógico programable	Elemento que hace las veces de “cerebro del sistema” proveyendo la secuencia de movimientos que debe hacer el sistema. Control mediante la gestión digital de entradas (sensores) y salidas (actuadores).
Electroválvulas	Actuadores conectados a las pinzas que permiten el paso de aire hacia las pinzas desde el sistema neumático.
Encoder	Captador de la posición del motor que provee de datos al servodrive para el control de posición y velocidad.
Finales de carrera	Dispositivos que se colocan en las posiciones máxima y mínima de la mesa para limitar su desplazamiento.

Tabla 8. Componentes principales

Características de la secuencia:

Como se ha reflejado en el apartado “Rodillos y pinzas” del marco teórico, la secuencia de movimiento consta de 6 pasos. Para determinarla, se establece el estado de reposo al momento previo del avance cuando la pinza fija sostiene la banda y la pinza móvil se dispone a cerrar.

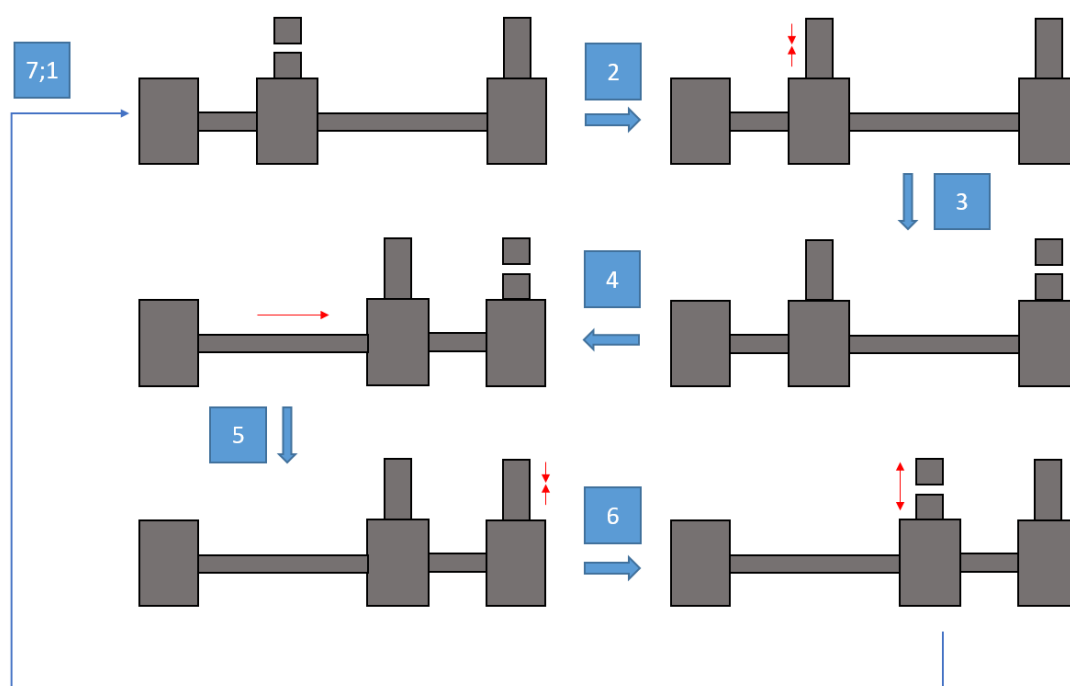


Ilustración 6. Secuencia de trabajo

Para los estados de avance y retroceso se disponen unas condiciones cinemáticas:

- Para que no haya brusquedades en el sistema, el tiempo de avance es el mismo que el de retroceso.
- La velocidad de la máquina debe adaptarse a los SPM (golpes/minuto) a los que trabaja la prensa.

Así se establece que la distancia, velocidad y aceleración es la misma para ambos casos, con lo cual solo se analiza un tipo de comportamiento cinemático. Para realizar este análisis se utilizará un perfil trapezoidal de la velocidad que refleja su evolución respecto al tiempo la cual deberá desempeñar el motor. A continuación se realizan los cálculos para determinar este perfil de velocidad, tomando como

referencia valores máximos a los que deberá trabajar la máquina. Para ello se determina un valor de SPM de 150 golpes/minuto a los cuales funcionan las prensas.

$$\frac{150 \text{ SPM}}{60 \text{ s}} = 2,5 \frac{\text{golpes}}{\text{segundo}} \rightarrow 0,4 \text{ segundos/golpe}$$

Cada golpe corresponde a una secuencia completa del ciclo de alimentación por lo que un estado de avance o de retroceso será la mitad de este tiempo. Pero este tiempo no correspondería a un estado de avance puramente, ya que no se ha descontado el tiempo de actuación de las pinzas. En este momento se determina que un factor de selección de las pinzas será que su tiempo de cierre no supere un máximo de 40ms. Por tanto:

$$\text{Tiempo de avance o retroceso} = 0,2 - 0,04 = 0,16 \text{ segundos}$$

Para determinar la velocidad máxima de actuación se establece un tiempo de aceleración y deceleración del 25% del tiempo de avance o retroceso y se emplea la fórmula de la ecuación del movimiento para un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado junto con la ecuación para un movimiento rectilíneo uniforme:

$$p. \text{ final} = p. \text{ inicial} + v. \text{ final} \cdot t_{MRU} + \frac{1}{2} a \cdot t_{MRUA}^2$$

Tomando valores máximos, cogiendo como referencia el principio de carrera del actuador lineal y teniendo en cuenta que la aceleración y la deceleración duran lo mismo, la ecuación queda de la siguiente manera:

$$p. \text{ final} = v. \text{ final} \cdot t_{MRU} + 2 \cdot \frac{1}{2} a \cdot t_{MRUA}^2$$

$$50 = v. \text{ final} \cdot 0,08 + \frac{v. \text{ final}}{0,04} \cdot 0,04^2 \rightarrow v. \text{ final} = 0,417 \frac{m}{s}$$

Para trabajar sobre seguro, ya que la velocidad debe ser mayor a la de la prensa se determina una velocidad máxima de 500 mm/s quedando el perfil de la siguiente manera:

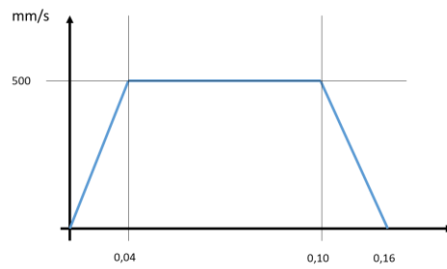


Ilustración 7. Perfil de velocidades trapezoidal máximo

Devanadora:

Es la unidad encargada de desenrollar la bobina que proveerá la banda. La devanadora al desenrollar la banda forma un arco desde que se desenrolla hasta que entra al alimentador que se puede considerar como una catenaria. Este arco crea una tensión estática la cual deberá ser compensada por el alimentador.

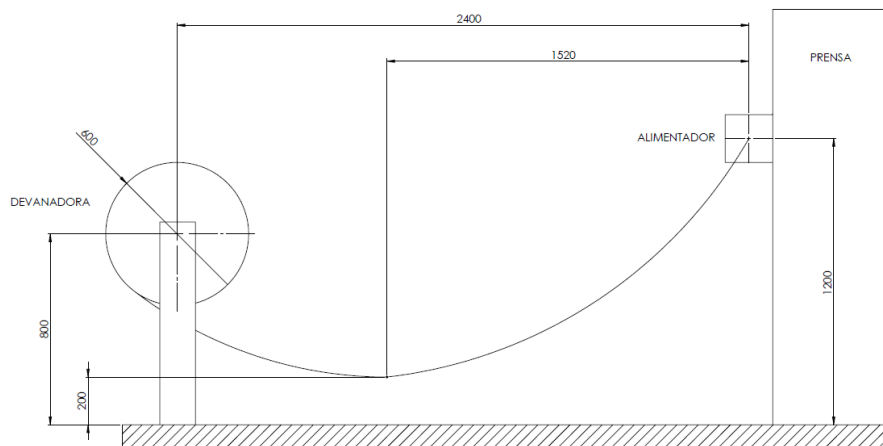


Ilustración 8. Medidas de la unidad devanadora

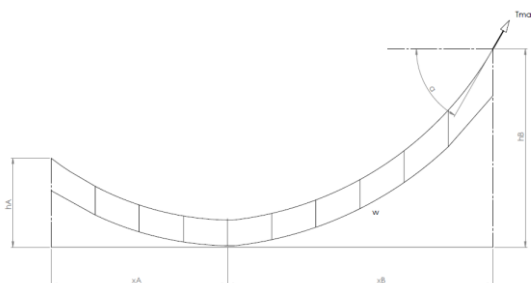


Ilustración 9. Distribución de peso de la banda

Banda	hA	hB	xA	xB
Espesor: 2mm				
Ancho: 100 mm				
Material: latón				
(densidad=8,5 g/cm³)				
	800 mm	1200 mm	1180 mm	1520 mm

Tabla 9. Características de la banda

$$w = 8.5 \cdot 0,2 \cdot 10 = 17 \frac{g}{cm} \rightarrow 17 \frac{N}{m}$$

$$L = 3,24 \text{ m} \rightarrow L_A = 1,36 \text{ m}, L_B = 1,88 \text{ m}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{2 h_B}{x_B} \right) = 57,7^\circ$$

$$T_{max} = \frac{w \cdot L_B}{\tan(\alpha) \cdot \cos(\alpha)} = 37,8 \text{ N}$$

La tensión estática producida en la banda en el punto de entrada al alimentador es de 37,8 N. Para posteriores cálculos que requieran este dato se tomará un valor de **50 N**.

5.1 Sistema de avance

Teniendo en cuenta el apartado de consideraciones, se ha optado por elegir pinzas neumáticas paralelas para el sistema de pinzado. Los motivos por los cuales se ha preferido esta opción son por su compartimentabilidad a la hora de realizar el diseño y por ser un elemento externo fácilmente reemplazable en caso de avería. A parte, por las características de control que ofrece al ser pensada específicamente para robots y sistemas de automatización, las cuales permiten realizar un control digital sencillo.

Las pinzas se situarán montadas en la parte superior de la mesa lineal como se mostrará en la propuesta de diseño, soportada por bloques macizos. La selección de las pinzas junto con el resto de componentes se realizará en la fase de desarrollo. En cambio, la mesa lineal será dimensionada en este apartado, ya que proveerá los datos necesarios para el dimensionamiento del resto de elementos. Los criterios para la selección de la mesa son: accionamiento por husillo sin fin de bolas, rigidez, equilibrio, cumplimiento de las especificaciones cinemáticas y espacio para montar los componentes en su parte superior. Para ello se ha elegido la gama de mesas lineales TTK del fabricante Bosch Rexroth.

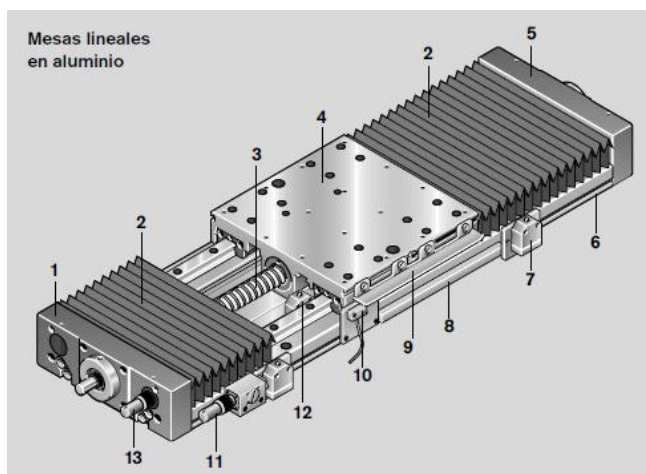


Ilustración 10. Mesa lineal TKK de Bosch Rexroth

1.Travesaño para rodamiento fijo	2.Fuelle en dos partes
3.Husillo de bolas con tuerca simple sin juego	4.Mesa con 4 patines largos
5.Travesaño para rodamiento flotante	6.Placa base
7. Interruptor mecánico externo	8. Canal portacables
9.. Leva de accionamiento	10. Interruptor inductivo externo
11. Caja/conector para interruptores externos	12.Interruptores mecánicos e inductivos internos
13.Caja/conector para interruptores internos	

Tabla 10. Descripción de las partes de la mesa lineal

En el catálogo del fabricante se disponían una serie de bases para realizar los cálculos de dimensionamiento de este componente los cuales se reflejan a continuación:

DATOS NECESARIOS:

Velocidad (v)	500 mm/s
Carrera (ca)	50 mm
Masa movida (m_A) (Sujeciones+pinza)	5 Kg
Preselección	TKK 15-155 Al con precarga al 2% y fuelle, husillo de Ø16 y paso 10mm, y mesa de □150 mm con motor MSK040C montado a través de brida y acoplamiento
Masa equivalente (m) (cálculo del catálogo: mesa + masa externa)	$m = 0.0124 \cdot L + m_A + 2$

Tabla 11- Datos para el cálculo de la mesa lineal

CÁLCULOS:

<div>Longitud del recorrido</div> <table><tr><th>Longitud L</th><th>Hilera de taladros – Asiento</th><th colspan="4">Recorrido máx. (mm) para longitud de la mesa con fuelle</th></tr><tr><th>(mm)</th><th>F - G x 120 - F</th><th>150</th><th>220</th><th>150</th><th>220</th></tr><tr><td>220</td><td>50 - 1 x 120 - 50</td><td>-</td><td>-</td><td>60</td><td>-</td></tr><tr><td>280</td><td>20 - 2 x 120 - 20</td><td>68</td><td>-</td><td>120</td><td>-</td></tr><tr><td>340</td><td>50 - 2 x 120 - 50</td><td>117</td><td>59</td><td>180</td><td>110</td></tr></table>	Longitud L	Hilera de taladros – Asiento	Recorrido máx. (mm) para longitud de la mesa con fuelle				(mm)	F - G x 120 - F	150	220	150	220	220	50 - 1 x 120 - 50	-	-	60	-	280	20 - 2 x 120 - 20	68	-	120	-	340	50 - 2 x 120 - 50	117	59	180	110	<div>carrera de seguridad = ca_s = 2 · paso = 20mm</div> <div>carrera total = ca_t = ca + 2 · ca_s = 90 mm</div> <div>L =f(ca,preselección)=340 mm</div>
Longitud L	Hilera de taladros – Asiento	Recorrido máx. (mm) para longitud de la mesa con fuelle																													
(mm)	F - G x 120 - F	150	220	150	220																										
220	50 - 1 x 120 - 50	-	-	60	-																										
280	20 - 2 x 120 - 20	68	-	120	-																										
340	50 - 2 x 120 - 50	117	59	180	110																										
<div>Aptitud del husillo</div>	<div>Husillos de bolas admisibles según diagrama</div> <div>“Velocidad admisible” a v = 0,5 m/s y L = 340 mm:</div> <div>husillo de bolas a partir de Ø16 y paso 10mm, por tanto, preselección correcta</div>																														
<div>Momento de accionamiento admisible (M_p) y de fricción (M_R)</div>	<div>M_R= 0,56 Nm (para la preselección de la mesa)</div> <div>M_P=7,4 Nm</div>																														
<div>Datos de la mesa</div> <div>k_J fix = Constante para la parte fija del momento de inercia de las masas (10⁻⁶ kgm²)</div> <div>k_J var = Constante para la parte de la longitud variable del momento de inercia de las masas (10⁻⁶ kgm²)</div> <div>k_J m = Constante para la parte específica de las masas del momento de inercia de las masas (10⁻⁶ kgm²)</div>	<div>m = 0.0124 · L + m_A + 2 = 13.2 → 13.5 Kg</div> <div>k_J fix = 10,5</div> <div>k_J var=0,039</div> <div>k_J m=2,53</div>																														
<div>Inercias (kgm²)</div> <div>J_{ex} = Momento de inercia de las masas de la mecánica</div> <div>J_s = Momento de inercia de las masas del sistema lineal (sin masa externa)</div> <div>J_t = Momento de inercia de las masas externas de traslación, referido al eje de accionamiento</div>	<div>J_{ex} = J_s + J_t + J_c</div> <div>J_S = (k_J fix + k_J var · L) · 10⁻⁶kgm² = 23,8 · 10⁻⁶</div> <div>J_t = m · k_J m · 10⁻⁶kgm² = 13,2 · 10⁻⁶</div> <div>J_c = 57 · 10⁻⁶</div> <div>J_{ex} = 115 · 10⁻⁶ kgm²</div>																														

<p>J_c = Momento de inercia de las masas del acoplamiento</p> <p>J_{dc} = Momento de inercia de las masas de todo el conjunto</p> <p>J_{br} = Momento de inercia de las masas del freno del motor</p> <p>J_m = Momento de inercia de las masas del motor</p> <p>J_{tot} = Momento de inercia de las masas total</p>	<p>$J_{dc} = J_{ex} + J_{br}$</p> <p>$J_{br} = 8 \cdot 10^{-6}$</p> <p>$J_m = 67 \cdot 10^{-6}$</p> <p>$J_{dc} = 123 \cdot 10^{-6}$</p> <p>$J_{tot} = J_{dc} + J_m = 190 \cdot 10^{-6}$</p> <p>Momento de inercia de las masas para manipulación ($V \leq 6$):</p> <p>$V = \frac{J_{dc}}{J_m} = 1.84 \rightarrow \text{motor MSK040C adecuado}$</p>
Revoluciones máximas admisibles	$n_{max} = \frac{v \cdot 1000 \cdot 60}{\text{paso}} = 3000 \text{ rpm}$

Tabla 12. Cálculos de la mesa lineal

Se ha preseleccionado un motor MSK040C de la misma casa que la mesa el cual se comprobará su aptitud definitiva en el dimensionamiento del servodrive. Con los cálculos de la mesa lineal ya se puede dimensionar el par que requerirá el motor:

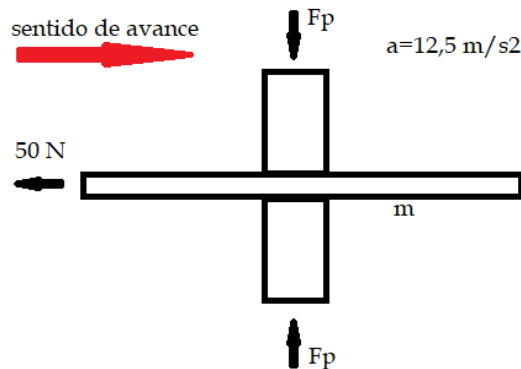
$$\alpha_{max} = \frac{n_{max}}{0,04} = \frac{3000 \cdot (2\pi/60)}{0.04} = 7900 \text{ rad/s}^2$$

$$M_{motor,nom} = J_{tot} \cdot \alpha_{max} = 1,5 \text{ Nm} \rightarrow M_{max,nom} = M_{motor,nom} + M_R = 2,06 \text{ Nm}$$

Así pues, también se puede decir que la fuerza axial que tiene que desarrollar el motor para desplazar linealmente todos los elementos móviles tomando en cuenta las características especificadas de aceleración y velocidad es la siguiente:

$$F_{axial} = m \cdot a = 13,5 \cdot 12,5 = 220 \text{ N}$$

Utilizando el perfil de velocidad realizado anteriormente también se procederá a obtener el valor del esfuerzo de compresión mínimo que deben desempeñar las pinzas para evitar que se deslice la banda sobre ellas al acelerar el sistema lineal:



$$F_R = 50 + m \cdot 12,5$$

$$2F_p \cdot \mu = F_R$$

$$F_p = \frac{F_R}{2 \cdot \mu}$$

Il·lustració 11. Esquema de la acció de les mordazas

La masa m de la banda, desde que entra al alimentador hasta que sale está apoyada sobre varios puntos que no están definidos, por lo que no se puede determinar con certeza. Aun así se tomará como referencia un peso de banda correspondiente a un metro de longitud de fleje sostenido por su centro de masas sobre las pinzas como si se sostuviera por su punto de equilibrio. A parte se aplicará un factor de seguridad de 2 al resultado de la fuerza de compresión para asegurar el cálculo. Se toma un coeficiente de fricción estático metal sobre metal lubricado de valor $\mu=0,15$:

Banda
Espesor: 2mm
Ancho: 100 mm
Material: latón
(densidad=8,5 g/cm³)

$$w = 17 \frac{g}{cm} \rightarrow 1,7 \frac{Kg}{m} \rightarrow F_R = 71,25 N$$

$$F_p = 237,5N \text{ (por mordaza)} \rightarrow F = 475N \text{ (fuerza de la pinza)}$$

$$\text{Con el FS de 2} \rightarrow F_{final} = 950 N$$

5.2 Formalización del producto

Sabiendo los componentes que deben formar parte del sistema se puede crear un concepto de producto que servirá de apoyo para diseñar el producto final. La idea es dividir la máquina en dos partes:

- La parte fija compuesta por la entrada de la banda la cual se compone de los elementos de alineación y posicionamiento que orientarán la dirección de la banda, bajo esta entrada un hueco en el cual se dispondrá el motor y todo seguido de la pinza fija.
- La mesa lineal sobre la cual se dispondrá la pinza móvil.

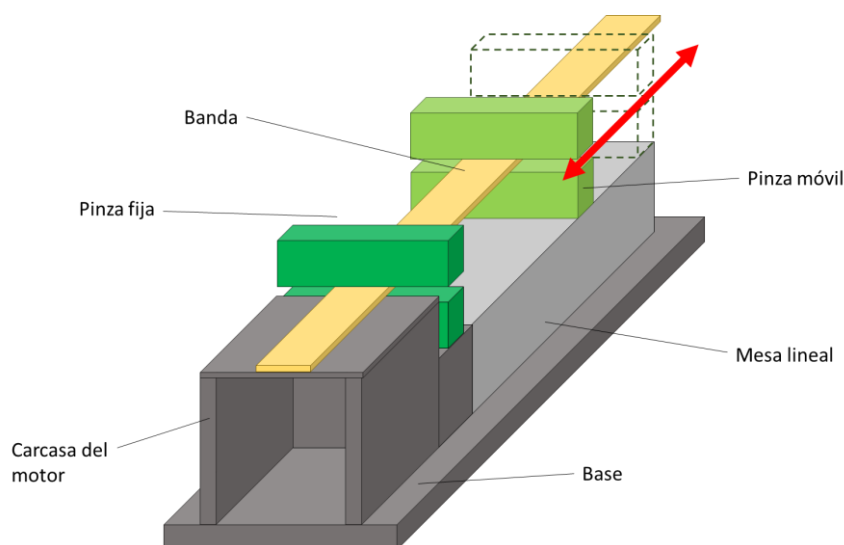


Ilustración 12. Concepto de diseño del alimentador

El diseño se ha llevado a cabo de esta manera para ahorrar el máximo posible de espacio disponible. Era posible colocar la pinza fija después de la pinza móvil pero esto hubiera supuesto un tercer bloque además de los ya nombrados, por lo que se ha optado por unificar los bloques de entrada de la banda y pinza fija. En apartados futuros se profundizará en las piezas que conforman la estructura de la máquina especificándoles un material y como van unidas entre ellas.

La función de la máquina consiste en realizar una secuencia de movimientos cuando detecte una señal que indique que ya se puede iniciar el ciclo. La determinación del inicio de ciclo, al ir en función de la construcción de cada matriz no es siempre la misma, pero se puede determinar que el ciclo debe comenzar cuando el camino de la banda esté libre de punzones. De esta forma, cada vez que se diseñase una matriz la cual estuviera alimentada por este alimentador debería realizarse el siguiente mecanismo que determinaría el inicio de ciclo a la señal de un micro interruptor.

El balancín estaría diseñado para que cuando hiciera contacto con el micro interruptor este enviase una señal digital positiva indicando la ausencia de punzones, iniciando la secuencia.

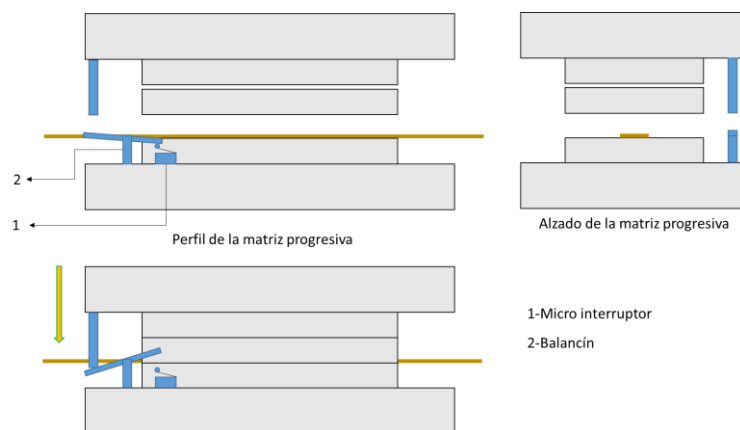


Ilustración 13. Sistema para indicar el inicio de ciclo

El resto de elementos de sensado serían los correspondientes al estado de las pinzas y al inicio y final de carrera de la mesa lineal. Las pinzas disponen de un sensor inductivo que indica la presencia o no de la mordaza de la pinza. Este sensor envía la señal para accionar la electroválvula cuyo tipo dependerá de si la pinza es de efecto simple o efecto doble. La mesa lineal dispone de un espacio en su interior en el que se pueden disponer unos interruptores inductivos (de la misma casa) que marcan los límites de carrera.

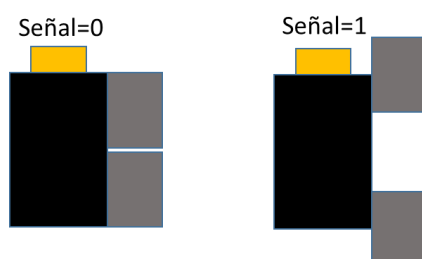


Ilustración 15. Sistema de detección de las pinzas

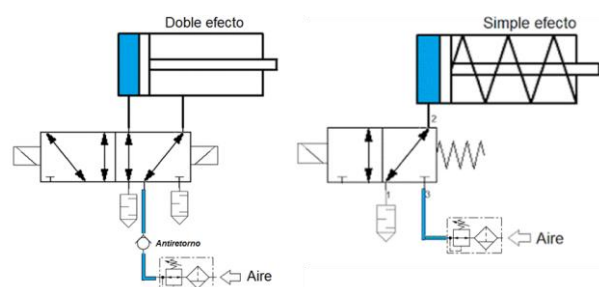


Ilustración 14. Posibilidades de sistema neumático

5.3 Control

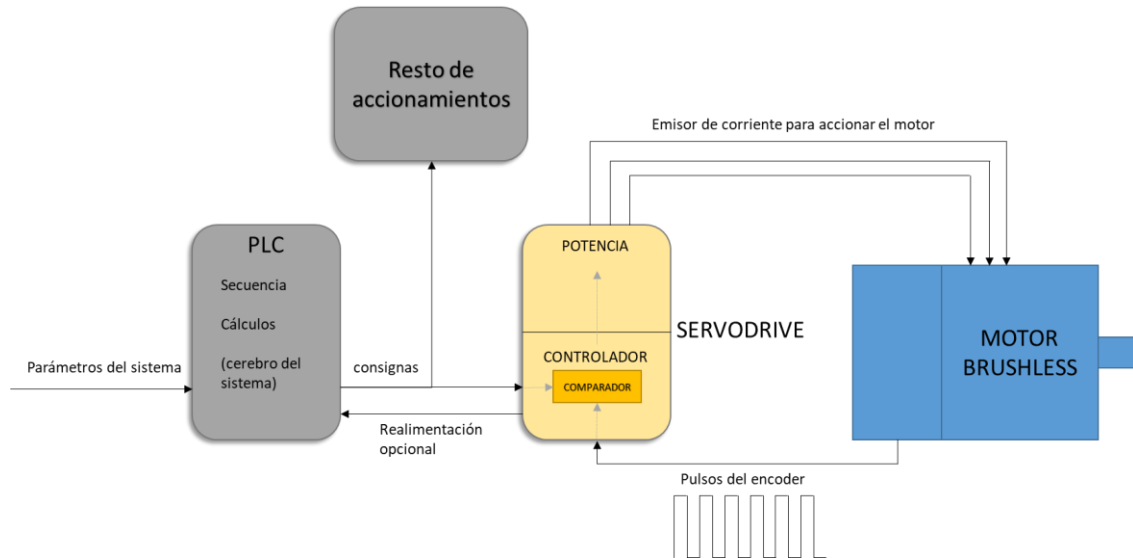


Ilustración 16. Esquema de control del motor

El proceso que deben seguir las señales desde que son introducidas en los puertos de entrada del PLC hasta realizar el accionamiento físico de los elementos mecánicos es el descrito en la imagen superior. El PLC como central de datos, se encargar de procesar los parámetros introducidos (ya sean consignas o datos de sensores) para proporcionar los mandos a los elementos conectados. Se han dividido los accionamientos entre la parte de motor y resto de accionamientos (pinzas) debido a que el control del motor es el más complejo. Las pinzas solamente requieren de señales BOOLEANAS para realizar su control:

- Electroválvulas permitiendo el paso de aire: Señal ON
- Electroválvulas bloqueando el paso de aire: Señal OFF

Lo cual es relativamente más sencillo, ya que no es necesario que controlar la fuerza ejercida. De la misma manera los sensores de las pinzas actúan del mismo modo:

- Sensores detectando la mordaza de la pinza: Señal ON
- Sensores no detectando la mordaza de la pinza: Señal OFF

En cambio el motor requiere una supervisión de ciertos parámetros como la posición y la velocidad. El elemento encargado de esta labor es el servodrive, que aparte de encargarse del control del motor también convierte la alimentación obtenida de la red en suministro de potencia del motor. El método de control del motor se puede llevar a cabo de dos maneras desde el PLC: mediante **salidas digitales** o **analógicas**. El método de salidas analógicas permite controlar la velocidad del motor de forma directa mandando al servodrive un valor de tensión entre un máximo y un mínimo los cuales se puede traducir a potencia suministrada hacia el motor de forma proporcional. Sin embargo este tipo de control no tiene en cuenta la posición del eje, por lo que el control digital es la mejor opción para el control de posición. Esto se lleva a cabo mediante modulación PWM la cual permite el control de posición y de velocidad.

PWM (Pulse Width Modulation):

Este método modula el ancho del pulso de una señal digital entre dos valores de tensión la cual se transmite a una frecuencia fija hacia un receptor, que en este caso sería el servodrive. Su base de funcionamiento en el fondo también se traduce finalmente como una modulación del voltaje similar al control analógico, ya que según el ciclo de trabajo de este pulso, debido a la conmutación a alta velocidad la tensión que recibirá el servodrive será el valor medio de los valores de referencia. Si por ejemplo se dispone de unos valores de referencia entre 0 y 24 V, si se está modulando con un ciclo de trabajo del 75% se recibirá una tensión de 18 V. De esta manera, aparte de controlar la velocidad en función de la tensión, se puede controlar la posición del motor contando los pulsos, ya que cada pulso corresponde a unos grados de giro del motor, lo cual, mediante el paso del husillo de bolas se puede transformar a pulsos/mm.

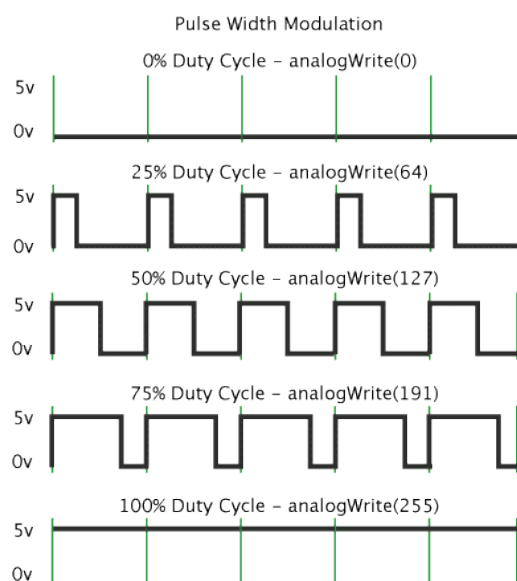


Ilustración 17. Ciclos de trabajo de un PWM

En definitiva la velocidad se controla en función del ancho de pulsos y la posición mediante un conteo de pulsos ya que la frecuencia de transmisión es constante.

Este método es controlable al mismo tiempo por un encoder el cual transmite el sentido de giro del motor y la velocidad. La velocidad se controla mediante la frecuencia de transmisión de los pulsos (pulsos/s) y el sentido de giro del motor se controla mediante la transmisión de dos señales.

Las dos señales A y B se transmiten con un desfase de 90° generando que a cada flanco de cambio de una de las señales se obtenga un valor binario de dos dígitos obteniendo una secuencia binaria en caso de un sentido de giro y otra secuencia en caso del sentido de giro contrario.

Así, mediante la comparación del ciclo de trabajo del PWM y la frecuencia de pulsos generados por el encoder, habiéndolos condicionado para obtener una tensión en función de la de referencia se puede llevar a cabo un control de la velocidad mediante el error obtenido, cerrando de esta manera el lazo, operación que realiza internamente el servodrive.

Existe la alternativa del encoder absoluto, el cual además de ofrecer las cualidades del encoder incremental, también posee la característica de definir la posición exacta en la que se encuentra el motor en un momento determinado mediante el envío de un código binario cuya resolución dependerá de los bits (filas) de los que disponga.

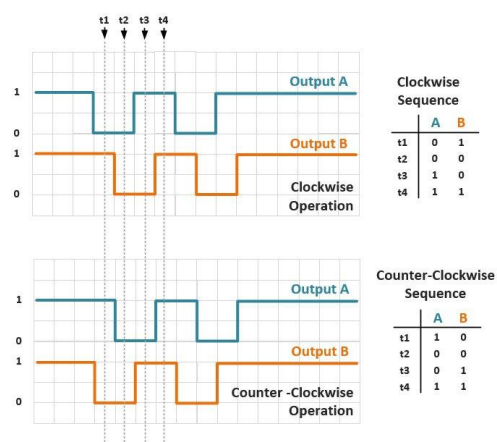


Ilustración 18. Método de control de un encoder incremental

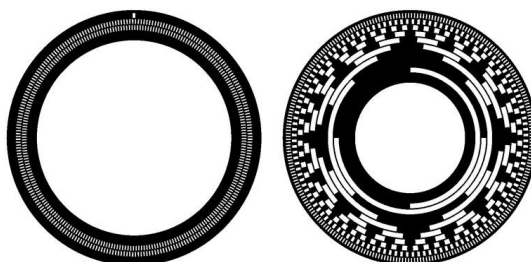


Ilustración 19. Encoder incremental a la izquierda y absoluto a la derecha

5.3.1 Diagramas de secuencias

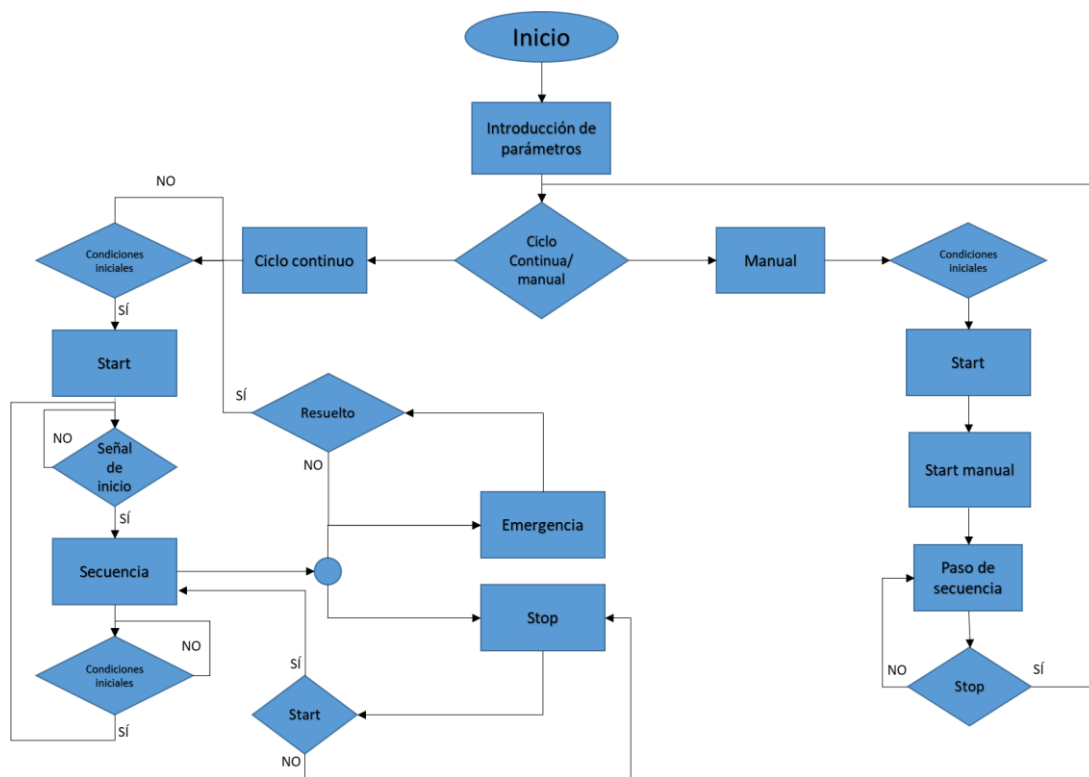


Ilustración 20. Opciones de mando y manipulación del alimentador

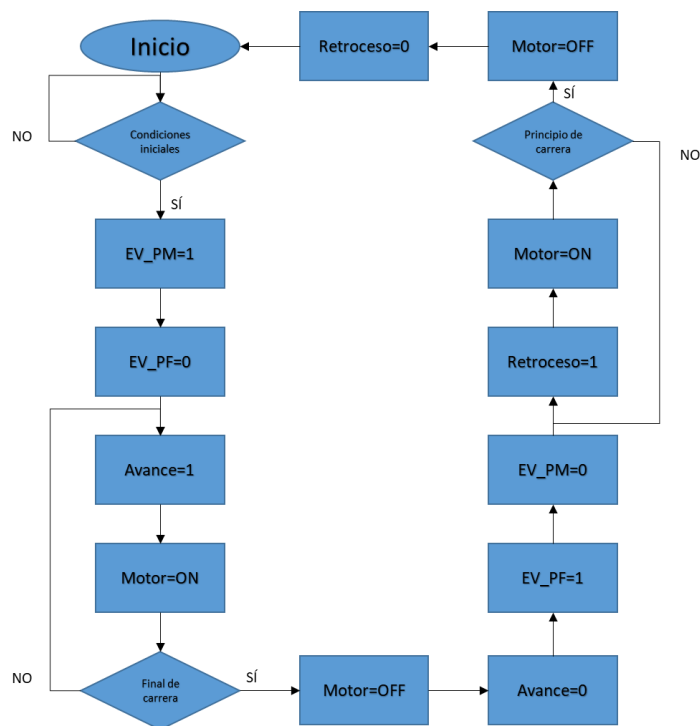


Ilustración 21. Secuencia de movimientos realizada en un ciclo

5.3.2 Programa

Tomando como referencia los diagramas anteriores, se ha llevado a cabo la realización de un programa para PLC mediante lenguaje gráfico Ladder que describe la secuencia teniendo en cuenta las entradas y salidas del controlador lógico. Para ello se han determinado los parámetros y tipos de variables que se utilizarán para este fin. Además de realizar la secuencia de movimientos y la gestión de las especificaciones de trabajo, se ha elaborado un subprograma que representa el comportamiento dinámico y a pesar de no disponer de PLC ni el montaje necesario para realizar las pruebas en físico se ha realizado una interface máquina-humano para simular el funcionamiento. El programa se ha ejecutado usando *Unity Pro XL*, software utilizado por PLCs de la casa Schneider Electric.

Parámetros de ENTRADA

ELEMENTO	SIGNIFICADO	DENOMINACIÓN	TIPO
Pulsador NA	Start	start	BOOL
Pulsador NA	Stop	stop	BOOL
Pulsador NC con enclavamiento	Seta de emergencia (NC)	Seta_emergencia	BOOL
Selector 2 posiciones	Ciclo continuo/manual	C/M	BOOL
Pulsador NA	Start manual	start_manual	BOOL
Entrada analógica	Paso de la banda (mm)	paso	DINT
Entrada analógica	Velocidad de la banda (mm/s)	vel	DINT
Interruptor NA	Inicio de carrera	I_carrera	BOOL
Interruptor NA	Final de carrera	F_carrera	BOOL
Interruptor NC	Inicio de ciclo	I_ciclo	BOOL
S. inductivo NA	Sensor pinza fija	S_PF	BOOL
S. inductivo NA	Sensor pinza móvil	S_PM	BOOL

Tabla 13. Parámetros de entrada del autómeta

Parámetros de SALIDA

SIGNIFICADO	DENOMINACIÓN	TIPO
Electroválvula de la pinza fija	EV_PF	BOOL
Electroválvula de la pinza móvil	EV_PM	BOOL
Pulsos para el avance (horario)	CW	BOOL
Pulsos para el retroceso (anti horario)	CCW	BOOL

Tabla 14. Parámetros de salida del autómeta

- Inicio

A cada entrada del PLC que sea un botón, selector u otro elemento cuya acción se deba dar por medio de una interacción humana, se le asigna una actividad. Nada más dar energía al controlador, se abren las pinzas para poder situar la banda manualmente. El botón start da permiso para iniciar la secuencia y si el carro está al principio de carrera la inicializa. El botón stop retira el permiso pero con posibilidad de retomar la acción en el punto en que se dejó. La seta de emergencia es un contacto NC (normalmente cerrado) que además de retirar el permiso para realizar la secuencia, desactiva todos los actuadores teniendo la posibilidad de reactivar el sistema desenclavando la seta haciendo que el sistema vuelva a sus condiciones iniciales. También se dispone de un selector de ciclo continuo para el trabajo automático o manual para realizar calibraciones el cual realiza un paso de la secuencia al accionar un botón específico.

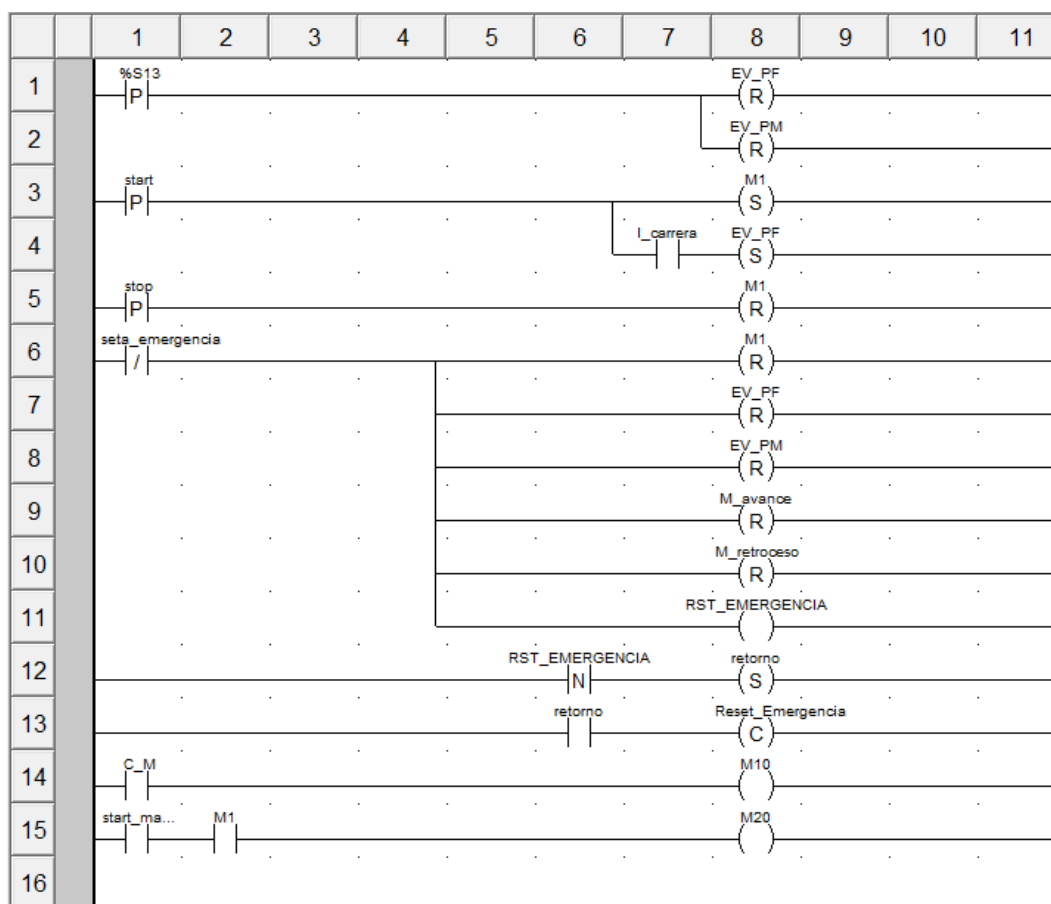


Ilustración 22. Figura 1 del programa en Ladder

- Secuencia

Esta parte traslada el diagrama de bloques de la secuencia a modo de diagrama de bloques de contactos, mostrando además las interacciones entre actuadores y sensores que se deben dar para llevar a cabo una ejecución correcta. Al final de cada ciclo se resetean las condiciones de modo que el programa solo tiene que esperar la señal del inicio de ciclo para volver a ejecutar otro ciclo en el modo ciclo continuo.

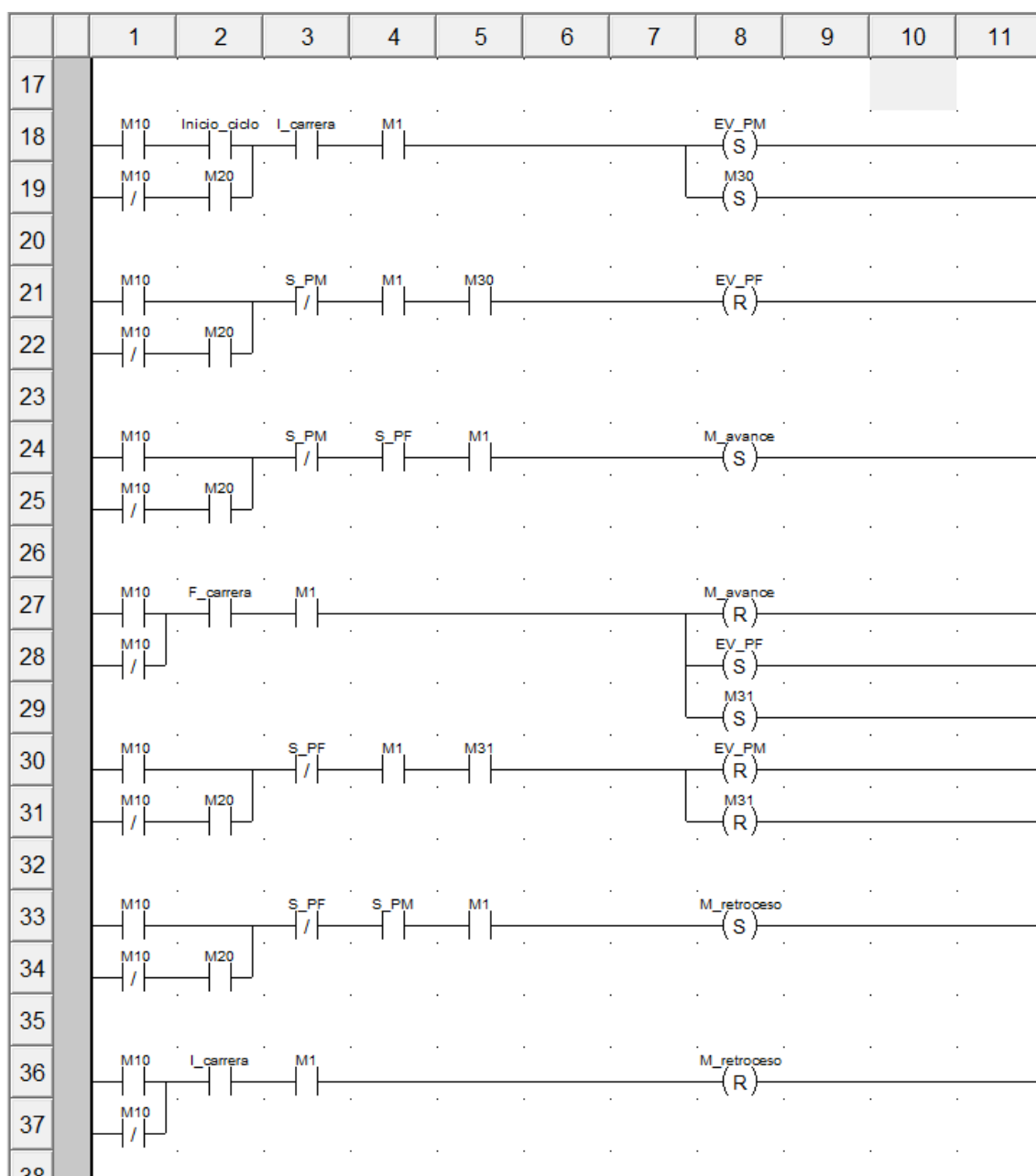
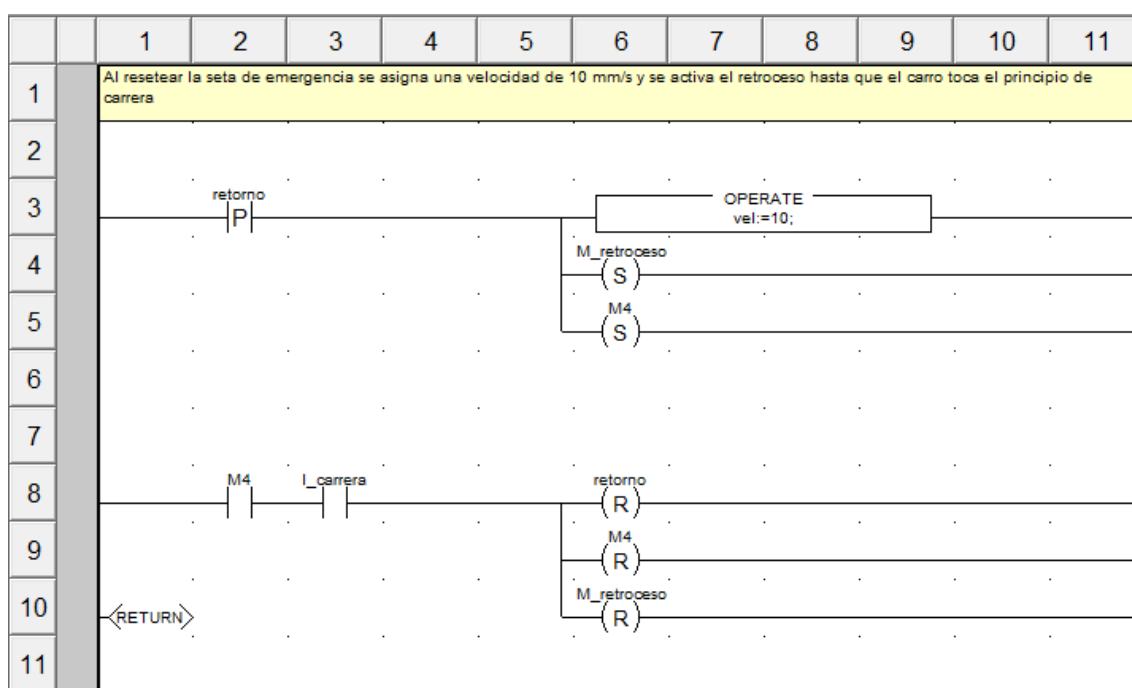


Ilustración 23. Figura 2 del programa en Ladder

- Reset de la seta de emergencia

Al desenclavar la seta de emergencia se envía un pulso en el momento que la señal pasa de 1 a 0 (al haber puesto un contacto negado relacionado con la seta normalmente cerrada) que activa el retroceso del carro a una velocidad baja hasta que llega al inicio de carrera, reiniciándose el sistema.



Il·lustració 24. Figura 3 del programa en Ladder

- Perfil de velocidades

Considerando los cálculos del perfil de velocidad realizados se puede obtener una función que relacione el tiempo que debe durar el periodo de aceleración, de velocidad constante y deceleración teniendo en cuenta que $t_{MRU} = 2 \cdot t_{MRUA}$:

$$posición = v_{final} \cdot t_{MRU} + 2 \cdot \frac{1}{2} a \cdot t_{MRUA}^2 \rightarrow posición = v_{final} \cdot t_{MRU} + \frac{v_{final}}{t_{MRUA}} \cdot t_{MRUA}^2$$

$$posición = 3 \cdot v_{final} \cdot t_{MRUA}$$

Así, mediante los valores insertados por el usuario de posición (paso de la banda) y velocidad, el programa realiza una serie de cálculos para determinar el perfil de

velocidad correspondiente. Para adaptar los valores a los parámetros de los timers, cuyo funcionamiento se basa en el conteo de milisegundos se multiplica el valor de posición introducido en milímetros por un factor de 1000. Finalmente se calcula una constante (k') que indica la inclinación de la rampa la cual se usará para determinar la salida auxiliar vel_inst.

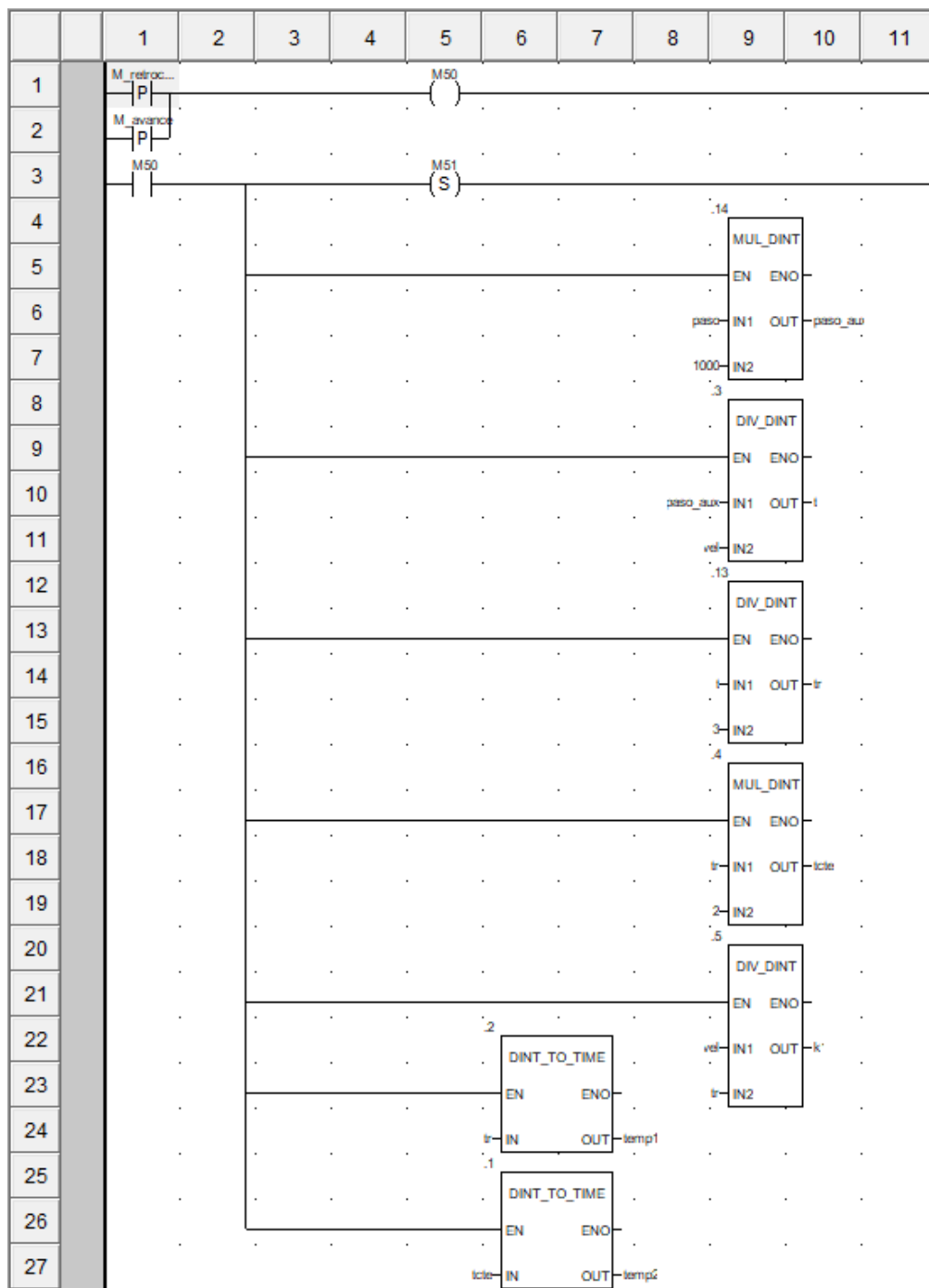


Ilustración 25. Figura 4 del programa en Ladder

La variable de salida auxiliar del perfil de velocidades es la denominada “vel_inst” que determina el valor de velocidad instantanea en cada momento tomando el valor del estado actual del timer multiplicado por el factor k' .

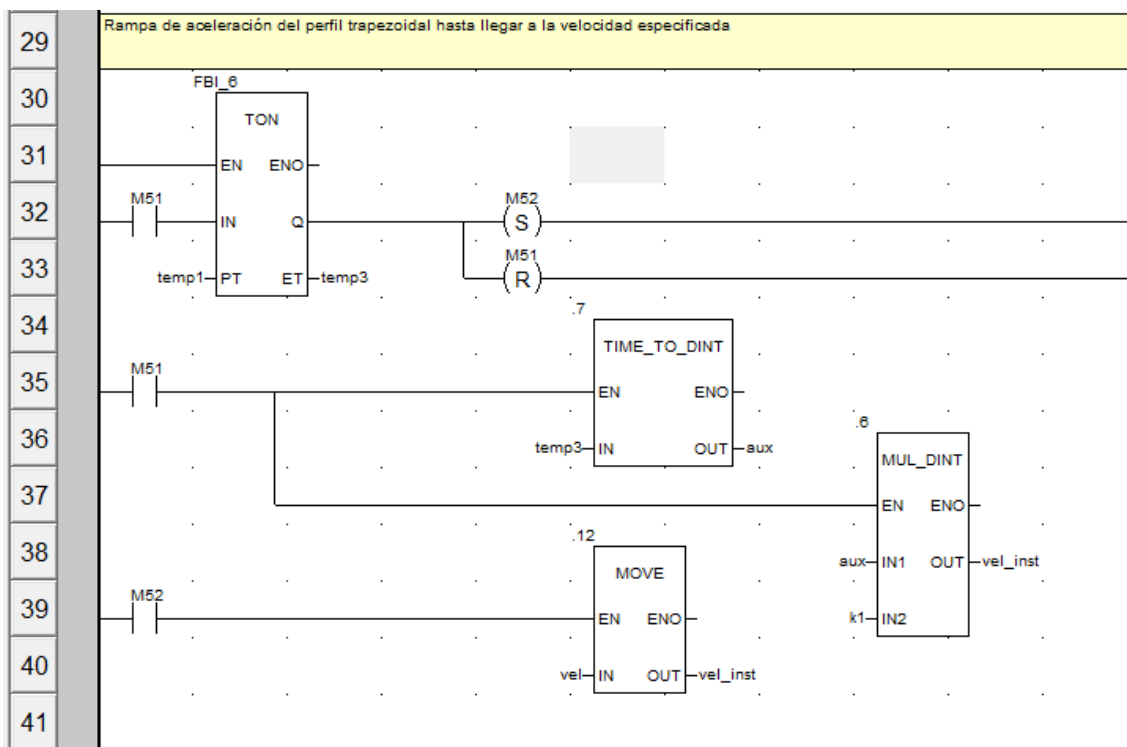


Ilustración 26. Figura 5 del programa en Ladder

Cuando el valor de la variable “vel_inst” es igual al valor de velocidad introducido, se espera el tiempo correspondiente al estado de movimiento rectilíneo uniforme manteniendo este valor constante en la salida “vel_inst”.

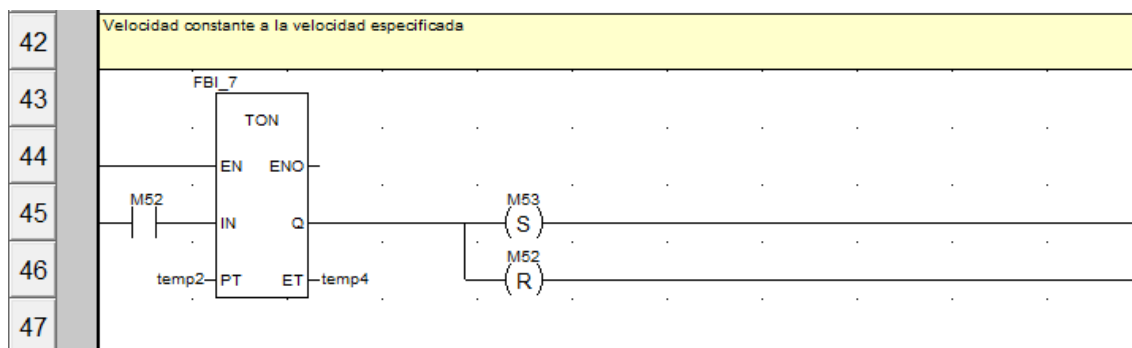


Ilustración 27. Figura 6 del programa en Ladder

Finalmente, se realiza la rampa de desaceleración de la misma manera que la de aceleración teniendo en cuenta que el valor de “vel_inst” debe reducirse hasta llegar a un valor nulo.

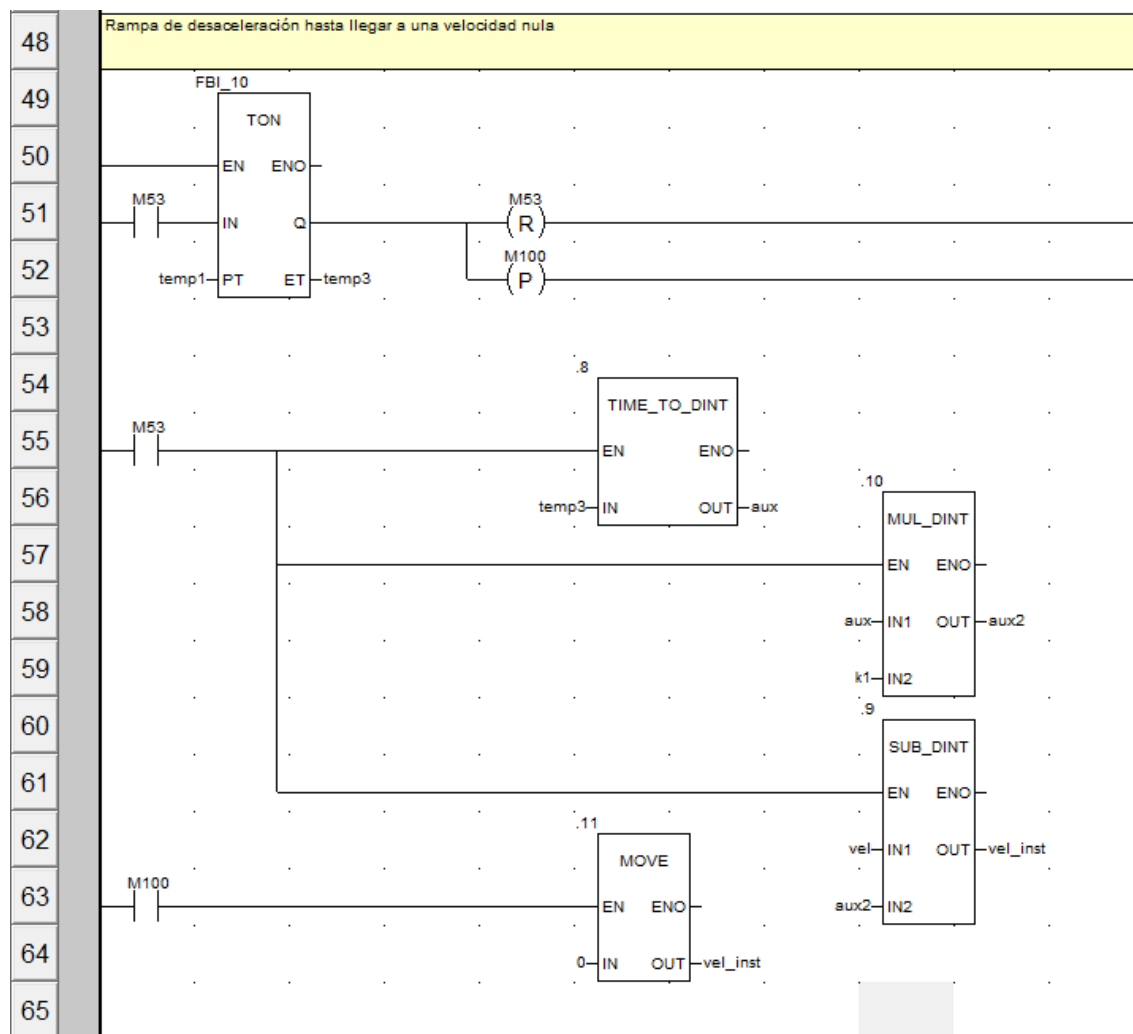


Ilustración 28. Figura 7 del programa en Ladder

- PWM

La importancia de la creación de la variable “vel_inst” reside en el uso que se le puede dar para activar el bloque de pulsos PWM que posee

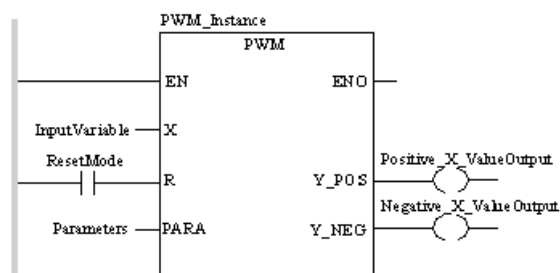


Ilustración 29. Bloque PWM de Unity Pro XL

Unity Pro XL. En este bloque el valor de la variable se compara con un valor establecido en los parámetros internos obteniendo una relación que sirve como índice para indicar el ciclo de trabajo de los pulsos, pudiendo así controlar el ancho de pulsos mediante el valor de “vel_inst”.

El ancho del pulso de salida del bloque se calcula de la siguiente forma:

La longitud de pulso T_{on} para las salidas Y_POS y Y_NEG se calcula mediante estas ecuaciones:

Salida	Fórmula	Condición
Y_POS	$T_{on} = t_{period} \times \frac{X}{up_pos}$	$0 \leq X \leq up_pos$
Y_NEG	$T_{on} = t_{period} \times \frac{ X }{up_neg}$	$up_neg \leq -X \leq 0$

Ilustración 30. Método interno del bloque para determinar el ciclo de trabajo

La descripción de los parámetros del bloque es la siguiente:

Descripción del parámetro PWM

Descripción de los parámetros de entrada:

Parámetro	Tipo de datos	Descripción
X	REAL	Variable de entrada
R	BOOL	Modalidad de restablecimiento ("1" = Restablecer)
PARA	Para_PWM	Parámetro

Descripción de los parámetros de salida:

Parámetro	Tipo de datos	Descripción
Y_POS	BOOL	Salida para los valores X positivos
Y_NEG	BOOL	Valores de salida X negativos

Descripción del parámetro Para_PWM

Descripción de la estructura de los datos

Elemento	Tipo de datos	Descripción
t_period	TIME	Longitud del periodo
t_pause	TIME	Tiempo de pausa
t_brake	TIME	Tiempo de frenado
t_min	TIME	Duración del pulso de accionamiento mínimo (en segundos)
t_max	TIME	Duración del pulso de accionamiento máxima (en segundos)
up_pos	REAL	Valor del límite superior para los valores X positivos
up_neg	REAL	Valor del límite superior para los valores X negativos

Ilustración 31. Descripción de parámetros del bloque PWM de Unity Pro XL

Convirtiendo la variable vel_inst de DINT a REAL se conectaría al parámetro X, el reset del avance o del retroceso activaría la variable R y las salidas Y_POS e Y_NEG corresponderían a las salidas CW y CCW respectivamente activando el movimiento del motor finalmente.

- HMI

La interface diseñada para simular el funcionamiento de la secuencia (sin dinámicas) se ha realizado con el apartado “pantallas de operador” que ofrece Unity Pro XL asignando a cada entrada y salida un elemento interactivo simbolizando el avance y el retroceso mediante flechas de dirección, las pinzas simulando su apertura y cierre y los sensores con leds virtuales.

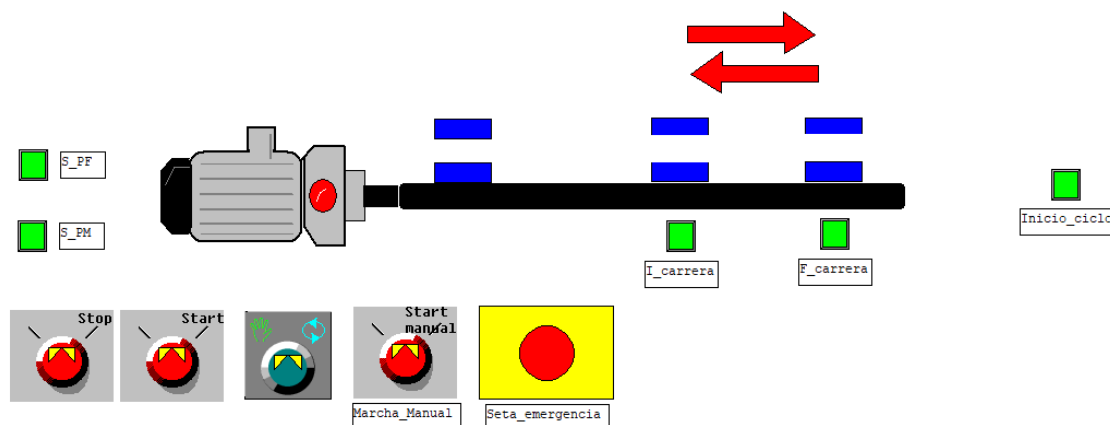


Ilustración 32. Diseño de la interface

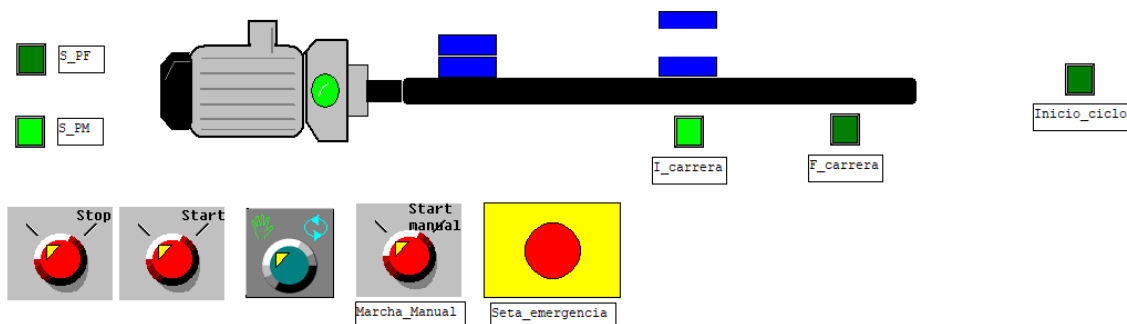


Ilustración 33. Proyecto transferido a PLC con la secuencia esperando el inicio de ciclo

5.3.3 Proceso de modelado y diseño del controlador del motor

Para ilustrar cómo se realizaría el estudio del motor se ha utilizado una estación consistente en un motor con encoder del laboratorio de control y automatización industrial de la Universidad Politécnica de Catalunya sobre la cual realizar las pruebas. Lo ideal hubiera sido realizar las pruebas sobre el motor real que se fuera a utilizar en la aplicación, pero al no disponer de los medios, se ha optado por trabajar con la estación proporcionada y así mostrar la metodología que se debería aplicar al proceso.

Los elementos que conforman el sistema y los medios utilizados constan de una estación de trabajo en la cual se encuentra el motor conectado a un encoder, el sistema de alimentación, un driver para suministrar potencia al motor y un bloque para el conteo de pulsos provenientes del encoder. El encoder utilizado para realizar las pruebas ha sido de tipo incremental para poder hacer un control de velocidad sobre el motor. Posee 50 dientes por lo que a cada revolución enviará 50 pulsos, es por eso que entre el motor y el encoder se coloca un reductor, para que el sistema de muestreo pueda identificar los pulsos sin problemas a elevadas velocidades. Así, en función de la frecuencia de los pulsos enviada por el bloque, se puede determinar la velocidad a la que gira el motor. Para la adquisición de datos se ha utilizado la tarjeta de adquisición Advantech PCI1711 la cual posee 16 entradas analógicas, 2 canales de salidas analógicas, 16 canales de salidas digitales i 16 canales de entrada digitales; y el programa Matlab r2017b para el procesamiento de los datos.



Ilustración 34. Estación de trabajo

IDENTIFICACIÓN

Para predecir el comportamiento dinámico que tendrá el motor a partir del cual se determinará un modelo de manera empírica una vez adquiridos los datos, se realiza un estudio matemático práctico que permite medir los parámetros dinámicos del motor. Este modelo teórico se obtiene a partir del análisis del esquema eléctrico-mecánico que se muestra a continuación:

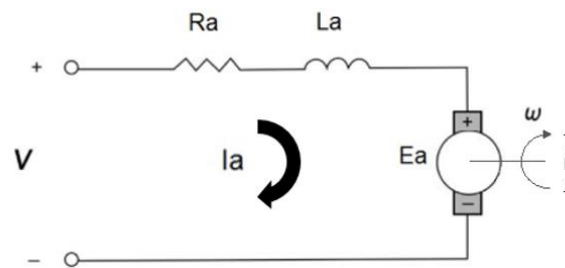


Ilustración 35. Esquema electromecánico de un motor

Realizando un análisis de mallas sobre la parte eléctrica se llega a la siguiente ecuación:

$$v(t) = R_a \cdot I_a(t) + L_a \frac{dI_a(t)}{dt} + E_a(t) \quad \rightarrow \quad v(s) = R_a \cdot I_a(s) + L_a s \cdot I_a(s) + E_a(s)$$

El análisis de la parte mecánica corresponde a la siguiente ecuación:

$$T_m(t) = J \frac{d\omega(t)}{dt} + B\omega(t) \quad \rightarrow \quad T_m(s) = Js \cdot \omega(s) + B\omega(s)$$

Finalmente mediante ecuaciones que relacionan las dos partes (velocidad proporcional a fuerza contra-electromotriz e intensidad proporcional a par del motor) se llega a una función final que relaciona la tensión suministrada al motor con la velocidad angular de éste mismo:

$$E_a(t) = k_a \cdot \omega(t) \quad \rightarrow \quad E_a(s) = k_a \cdot \omega(s)$$

$$T_m(t) = k_m \cdot I_a(t) \quad \rightarrow \quad T_m(s) = k_m \cdot I_a(s)$$

$$v(s) = (R_a + L_a s) \cdot \frac{T_m(s)}{k_m} + k_a \cdot \omega(s)$$

$$v(s) = (R_a + L_a s) \cdot \frac{(Js + B) \cdot \omega(s)}{k_m} + k_a \cdot \omega(s)$$

$$\frac{\omega(s)}{v(s)} = \frac{k_m}{L_a J s^2 + (R_a J + L_a B) s + R_a B + k_m k_a}$$

Como se puede observar en el modelo matemático correspondiente a la dinámica del motor, la función que se obtendrá a partir del análisis de los datos adquiridos digitalmente será previsiblemente de segundo orden. Así pues, se procede a realizar las conexiones para poder llevar a cabo la recolección de datos en el ensayo del motor.

El proceso para la determinación del modelo empírico del motor consiste en un ensayo en lazo abierto para obtener la función que corresponda solamente con la planta. Más adelante se realizará la realimentación en lazo cerrado cuando se proceda a ejecutar el diseño del controlador. El esquema en lazo abierto es el siguiente:

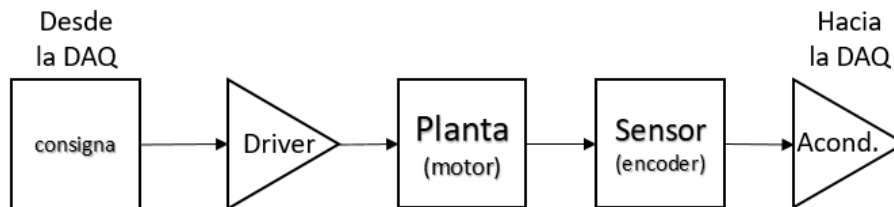


Ilustración 36. Diagrama de bloques en lazo abierto

Para llevar a cabo la transformación de los pulsos recibidos en tensión medible por la tarjeta de adquisición se conecta la salida del bloque del encoder a un acondicionador. A mayor frecuencia de pulsos, mayor tensión de salida.

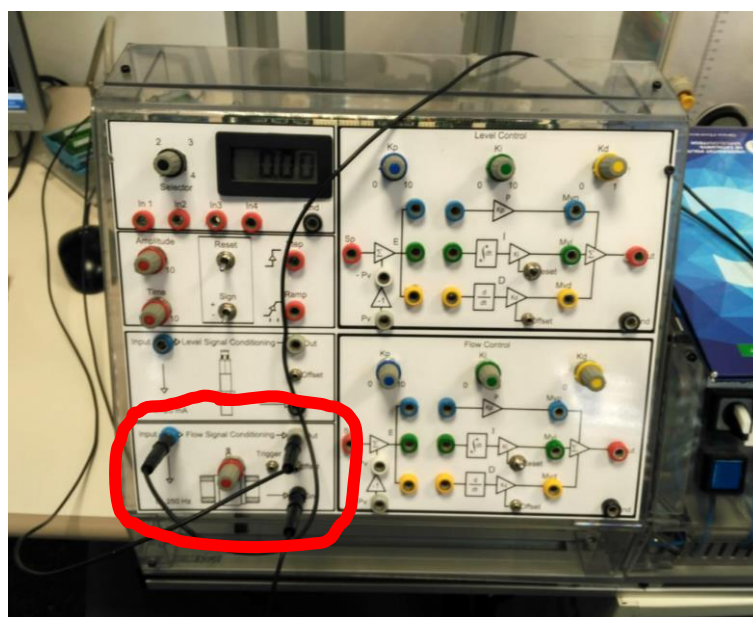
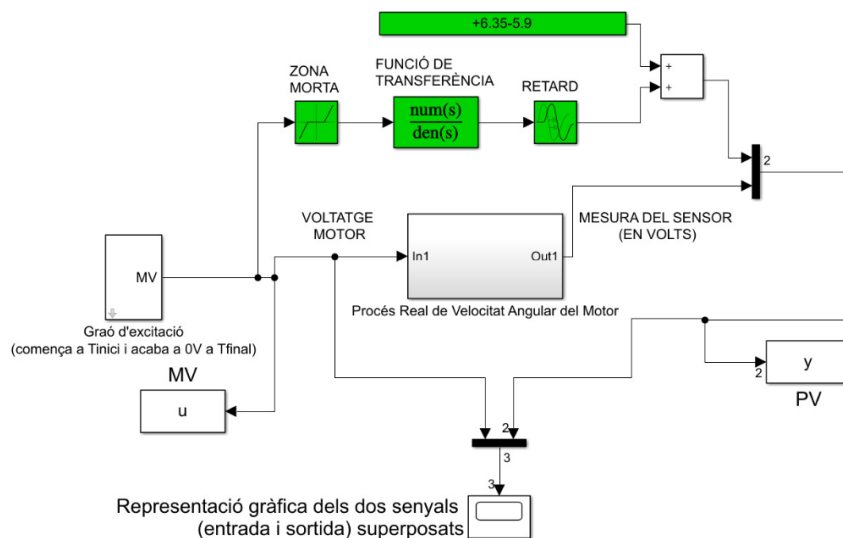


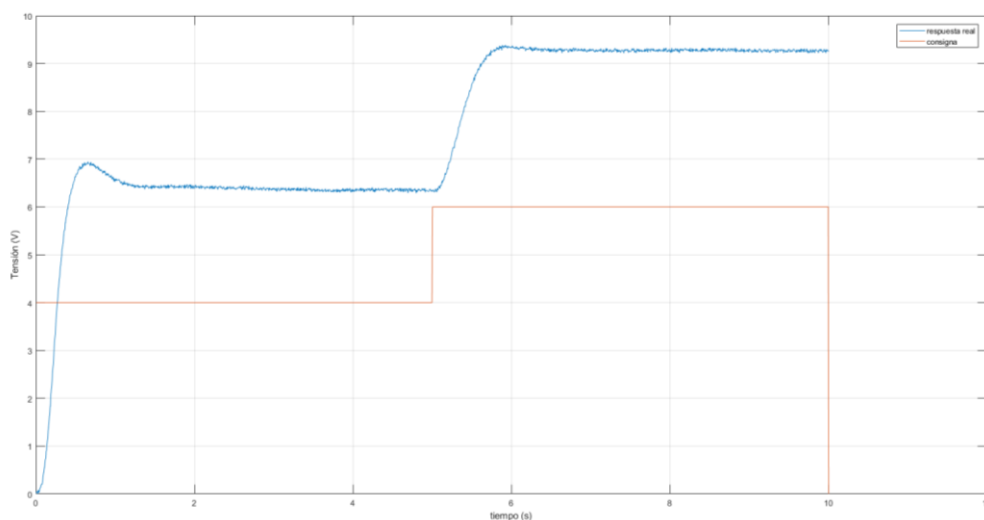
Ilustración 37. Transductor de frecuencia a tensión

El programa utilizado para el procesamiento de los datos se ha realizado en simulink:



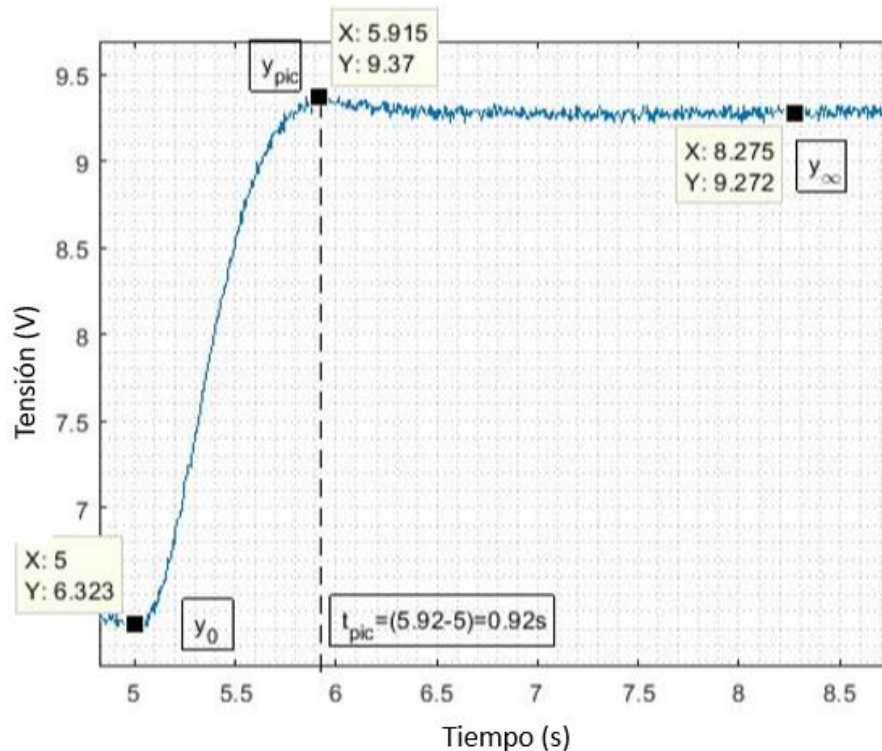
Il·lustración 38. Programa en simulink que compara datos reales con datos del modelo

Para obtener la función se ha ejecutado el programa primero sin la parte verde, únicamente para recoger datos. Los bloques en verde servirán para una vez obtenido el modelo, simular paralelamente la realidad y el modelo para comprobar visualmente su exactitud. La consigna escalón (u) generada mediante software se traslada a la salida de la tarjeta de adquisición y la tensión generada por los pulsos del encoder (y) se traslada a la entrada de la tarjeta de adquisición. La función obtenida a partir de los datos adquiridos es la siguiente:



Il·lustración 39. Evolución temporal de la respuesta real

La gràfica corresponde a una funció de segund ordre com se predijo en el anàlisis teòric, con un retardo y ligeramente subamortiguada lo que indica que el valor de la resistencia es significativamente mayor que el de la inductancia haciendo que el polo producido por la inductancia sea casi despreciable, aunque no sea así. A partir del comportamiento observado en la gràfica se consigue finalmente realizar la identificación del modelo del motor:



Il·lustració 40. Dats rellevants de la resposta real para obtenir el modelo

$$Mp\% = \frac{y_{pic} - y_{inf}}{y_{inf}} = \frac{9.37 - 9.272}{9.272} = 0.0106 \rightarrow 1,06\% \quad \xi = \sqrt{\frac{\ln(Mp)^2}{\pi^2 + \ln(Mp)^2}} = 0,8227$$

$$\omega_n = \frac{\pi}{t_{pic} \sqrt{1 - \xi^2}} = 6 \frac{rad}{s} \quad k = \frac{y_{inf} - y_0}{u_{final} - u_{inicial}} = \frac{9.272 - 6.323}{6 - 4} = 1.475$$

$$G(s) = \frac{k \cdot \omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n \cdot s + \omega_n^2}$$

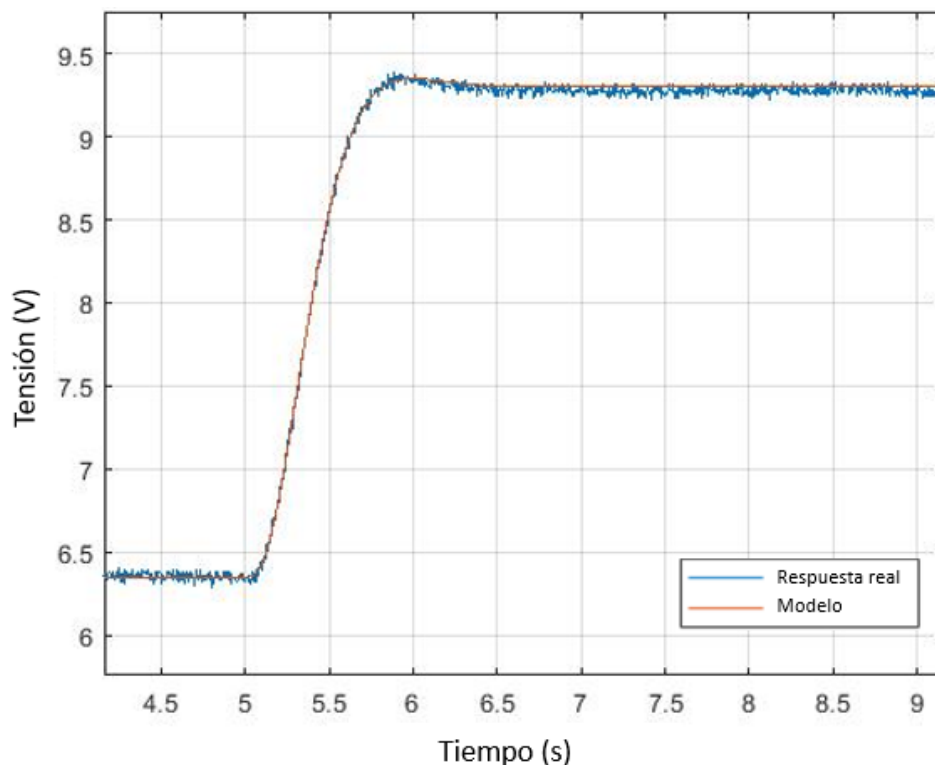
$$G(s) = \frac{53.1}{s^2 + 9s + 36}$$

Además el sistema tiene un retardo de 0,12 segundos, por lo que a la hora de simular el modelo esto se deberá tener en cuenta. Es posible aproximar el retardo introduciendo un polo a la función de la planta con un valor de establecimiento del tiempo (τ) de 0,12 segundos, de esta manera quedaría una función de tercer grado:

$$\text{polo: } (0.12s + 1)$$

$$G(s) = \frac{53.1}{0.12s^3 + 2.08s^2 + 13.32s + 36}$$

Para generar la función en simulink se dispone de un bloque que genera el retardo. Una vez identificado el modelo se ejecuta el programa de simulink con la parte verde introduciendo la función obtenida y el resultado gráfico de la respuesta real y la simulada superpuestas queda de la siguiente forma:



Il·lustració 41. Comparación de la respuesta real y el modelo

El modelo superpuesto sobre la respuesta real es casi impredecible dado que se ajusta de una manera casi perfecta a la realidad.

DISEÑO DE CONTROLADOR

La realización del sistema de control se lleva a cabo cerrando el lazo de la planta ($G(s)$) incluyendo el controlador ($C(s)$). En este apartado se ha hallado el controlador adecuado detallando las especificaciones temporales que debe cumplir.

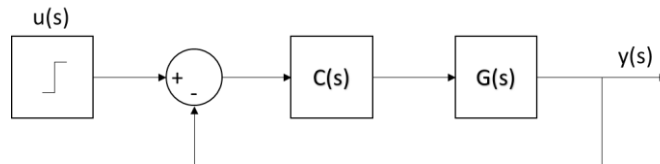


Ilustración 42. Sistema con lazo cerrado

En el caso de llevar a cabo las pruebas con el motor adecuado para la aplicación, se debería buscar un motor con una dinámica que soportase un tiempo de establecimiento de 0,04 segundos. En el caso del motor que se está ensayando, su dinámica no soporta este tiempo de establecimiento, por lo que se determinará un tiempo de establecimiento acorde con su dinámica.

El comportamiento a especificar consiste en establecer un comportamiento de segundo orden cuyas especificaciones temporales deben ser un tiempo de establecimiento (T_s) al 98% de 1 segundo y un comportamiento sin sobrepico, es decir, imponiendo un amortiguamiento crítico ($\xi = 1$).

El comportamiento del lazo cerrado debe ser el siguiente:

$$T_s = \frac{4}{\xi \cdot \omega_n} \rightarrow \omega_n = 4 \frac{rad}{s} \quad , \quad T(s) = \frac{16}{s^2 + 8s + 16}$$

Con esto, mediante un análisis por el método de síntesis directa, se podrá obtener unos valores de control ($C(s)$) aplicando el modelo matemático del lazo cerrado:

$$T(s) = \frac{C(s)G(s)}{1 + C(s)G(s)} \rightarrow C(s) = \frac{1}{G(s)} \frac{T(s)}{1 - T(s)}$$

$$C(s) = \frac{0.12s^3 + 2.08s^2 + 13.32s + 36}{53.1} \frac{16}{s(s + 8)}$$

$$C(s) = \frac{0.036s^3 + 0.6267s^2 + 4.014s + 10.85}{s^2 + 8s}$$

Así, la funció que define el comportament del controlador es la anterior, el problema es el format en que se presenta, ya que la aplicació física de este controlador seria muy compleja. Es por este motivo que se simplificará para obtener un formato mejor aplicable y más cercano a una configuración de PID mediante el método de reducción de un modelo basado en el criterio de estabilidad de Routh (solamente para el dominio de frecuencias) por recomendación del director de la parte de electrónica.

$$\text{Para el numerador: } \begin{array}{c|cc} s^3 & 0.036s^3 & 4.014s \\ s^2 & 0.6267s^2 & 10.85 \\ s & b1 & 0 \end{array}$$

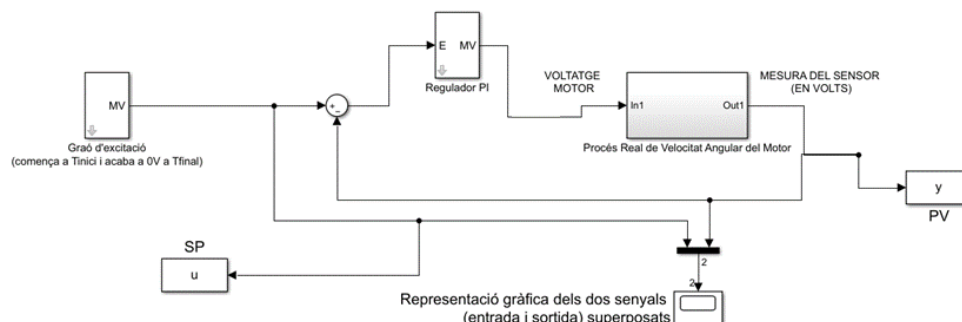
$$\text{Donde } b1 = \frac{0.6267s^2 \cdot 4.014s - 0.036s^3 \cdot 10.85}{0.6267s^2} = 3.3907s$$

$$\text{Para el denominador: } \begin{array}{c|cc} s^2 & s^2 & 0 \\ s & 8s & 0 \end{array}$$

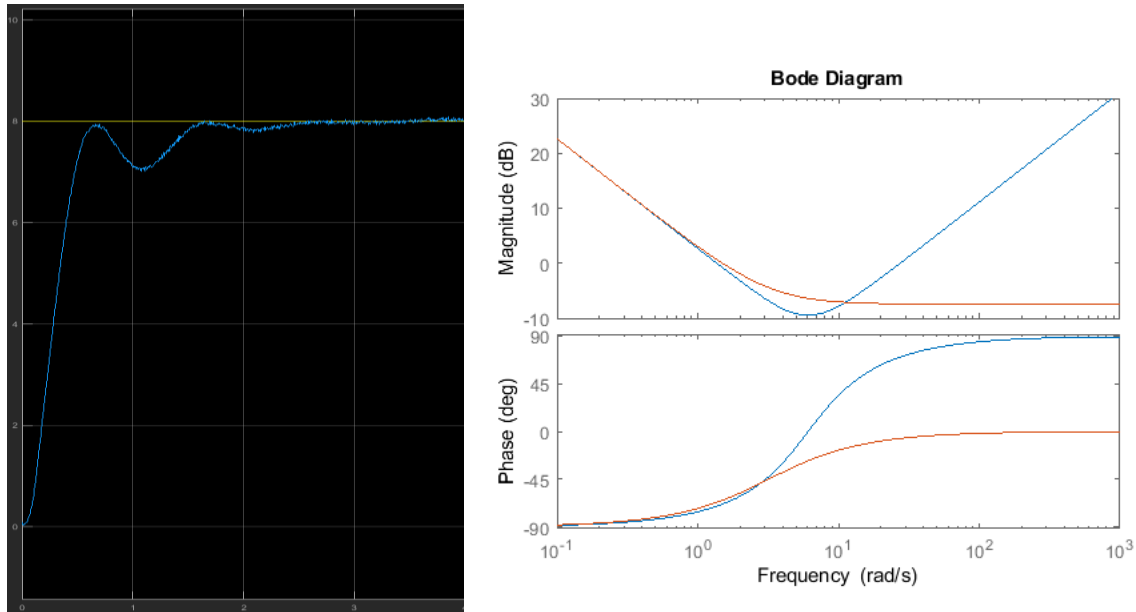
Para obtener una función con numerador y denominador de primer orden se toman los valores correspondientes a los valores de s^1 y s^0 y queda de la siguiente forma:

$$C(s) = \frac{3.3907s + 10.85}{8s} = \frac{0.424s + 1.356}{s}$$

Esta configuración recuerda una estructura de controlador PI con valores **Kp=0.424** y **Ki=1.356 s⁻¹**. Estos valores de Kp y Ki se han introducido en el programa de simulink diseñado para testear el controlador junto con la planta obteniendo los siguientes resultados:



Il·lustració 43. Controlador dissenyat en simulink que actúa sobre la planta real



Il·lustració 44. Resposta real de la planta controlada y diagrama de bode de los controladores

Como se puede observar, el resultado obtenido en la gráfica de la respuesta frente a una entrada en forma de escalón cumple con bastante exactitud las especificaciones obtenidas de tiempo de establecimiento alrededor de 1 segundo y un comportamiento sin oscilaciones por encima del valor a alcanzar llegando a estabilizarse en el valor de la consigna con un error de valor prácticamente nulo.

En el diagrama de frecuencias la línea de color rojo corresponde al controlador obtenido sin aplicar la reducción y la línea azul al controlador reducido aplicando el criterio de Routh. Es digno de mención el hecho de que el controlador obtenido es solamente válido para frecuencias bajas hasta un valor de aproximadamente de 3Hz, ya que a partir de este valor los controladores se comportan de manera diferente.

En definitiva, esta sería la metodología a seguir en el momento en el que se dispusiera de un motor con la dinámica deseada y adecuado para el uso para el que está destinado, y así poder identificar su modelo y diseñar un controlador con las especificaciones deseadas.

6 Fase de desarrollo de producto

Finalmente, en este apartado se mostrará la solución final en cuanto al diseño, habiendo incorporado los elementos comerciales escogidos tomando en consideración los conceptos desarrollados hasta ahora, teniendo así una idea del producto muy cercana a lo que sería en la realidad. A los elementos no comerciales que se tengan que fabricar como es la parte de la entrada de la banda a la máquina o la base que une todos los componentes, se les hará un estudio para determinar que material es más óptimo para su fabricación y que procesos industriales se deberán llevar a cabo, así como su montaje y las uniones entre piezas.

6.1 Solución final

Para el diseño final se han utilizado productos de las marcas “Bosch Rexroth” para el motor y la mesa lineal y “Zimmer Group” para las pinzas y sus sensores. El diseño consiste en un bloque macizo de 700x200 mm (dimensiones máximas del producto) sobre el que van atornillados los elementos más grandes como son la mesa y los soportes de las pinzas y motor. Esta base se fija a la mesa de la prensa. Para evitar problemas de pandeo de la banda como se reflejó en el apartado de marco teórico, era una solución colocar el alimentador lo más cerca posible de la matriz. La mejor manera de llevar a cabo esto sería montando el alimentador directamente sobre la matriz como se ve en la imagen (alimentador neumático), pero debido al peso y a las dimensiones previstas del diseño de este proyecto esto no ha sido



Ilustración 45. Alimentador neumático montado a matriz accionado por electroválvula

posible. Sin embargo se ha optado por la opción de colocar el alimentador justo antes de la corredera móvil de la prensa fijándolo al bloque macizo que a su vez va fijado a la mesa de la prensa. El alimentador no se encuentra entonces justo a la entrada de la matriz pero eso se puede arreglar colocando unos rodillos que enderecen la banda al salir del alimentador.

Para orientar correctamente la banda se han colocado dos rodillos en la parte inicial donde la banda hace el primer contacto con el alimentador. Estos dos rodillos no solo centran el fleje mediante dos discos que van fijos a los rodillos, sino que facilitan el acceso y el desplazamiento, reduciendo al mínimo posibles fricciones que aumenten la carga. A parte, para llevar la banda completamente perpendicular a la matriz se ha colocado una guía por donde se deslizan manualmente unos rolines que se pueden fijar mediante tornillos.

Por cuestiones de adaptación del diseño a las pinzas la banda se desliza dos centímetros desplazada del centro de simetría de la máquina, pero no supone ningún problema más allá del ámbito estético, ya que esos dos centímetros de más que quedan por un lado son asumibles dentro de las dimensiones de la prensa.

6.2 Propuesta formal

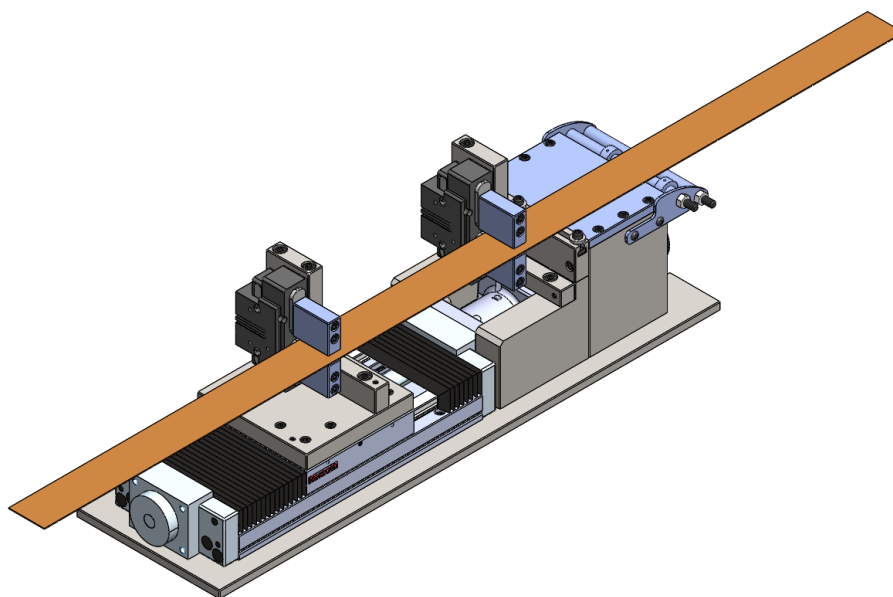
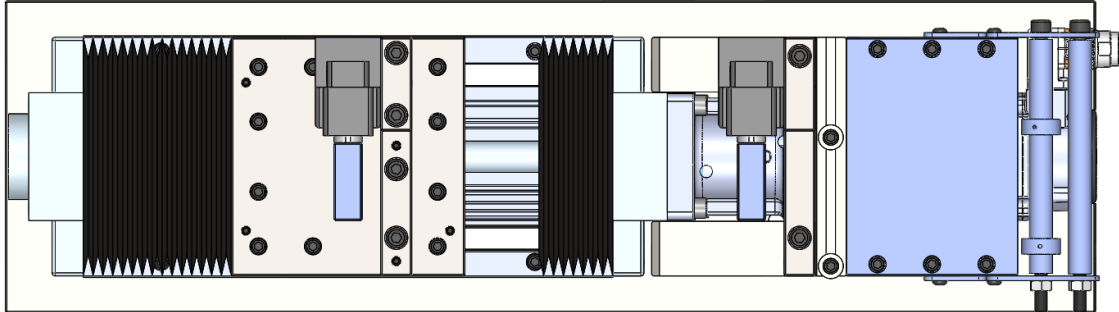
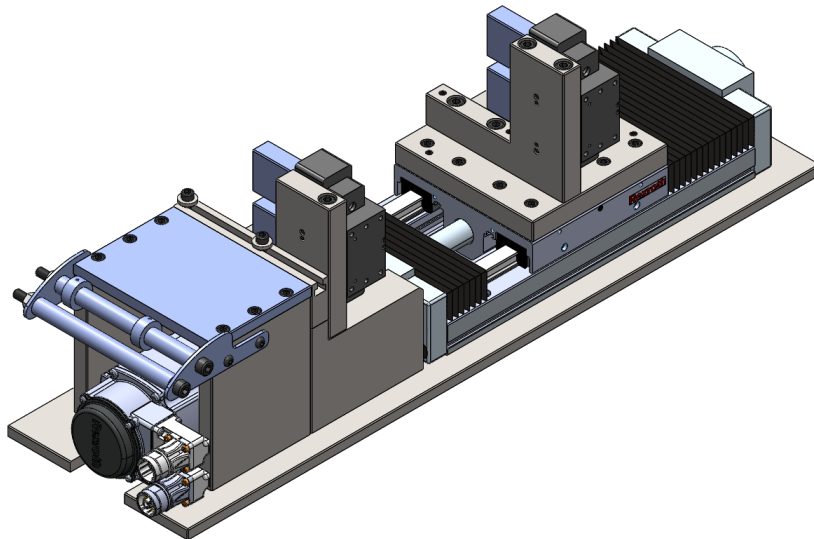


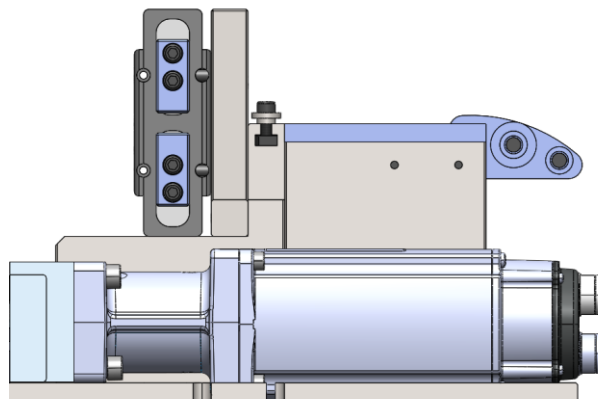
Ilustración 46. Vista general



Il·lustració 47. Vista en planta



Il·lustració 48. Vista posterior



Il·lustració 49. Disposició del motor

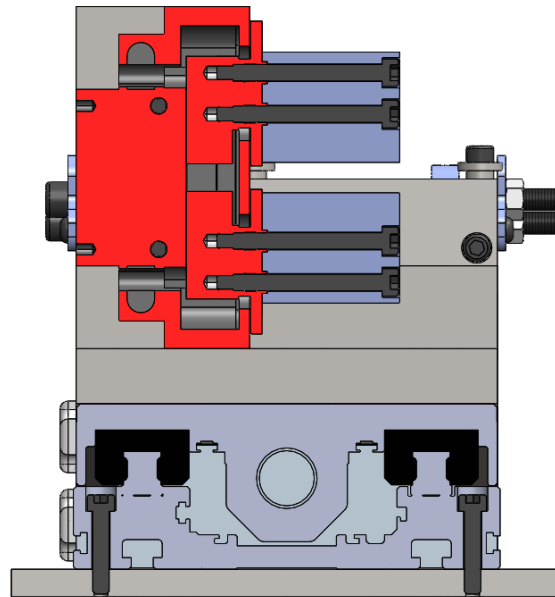


Ilustración 50. Vista seccionada de una pinza

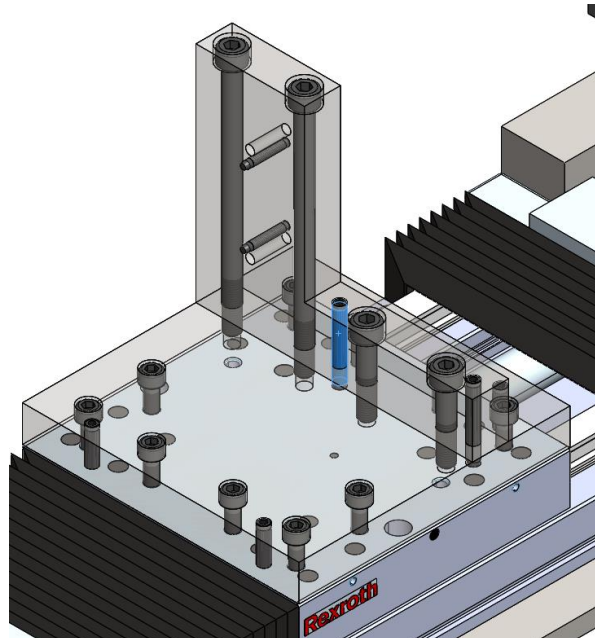


Ilustración 51. Montaje del soporte para la pinza móvil

Los planos que contienen los datos técnicos se han incluido en el documento de anexos.

6.3 Definición técnica de componentes

En esta sección se realizará la selección de materiales para los elementos que se deban de fabricar así como su procesado, la clase de uniones que presentan y su montaje. Finalmente se listarán los componentes comprados de fabricante externo.

6.3.1 Selección de materiales

Para definir el material con el que estará fabricado cada componente se dividirán las piezas que conforman la máquina en los siguientes bloques:

PARTE		CARACTERÍSTICAS
Base		Soporta todos los componentes. Debe mantener la rigidez pese al movimiento a altas velocidades al que está sometida la mesa lineal Necesidades: Tenacidad, maquinabilidad
Piezas estructurales		No soportan más esfuerzos que el peso de la banda y las vibraciones del motor. Deben mantener fija la composición Necesidades: Estabilidad y rigidez
Placa fijación p. móvil		Está en un constante movimiento repetitivo. Debe sostener la pinza de forma fija sin que las uniones sufran un deterioro Necesidades: Dureza, rigidez, tenacidad
Placa deslizadora		Sobre ella desliza la banda y hace las veces de parte superior de las piezas estructurales pero no debe soportar peso Necesidades: Resistencia al desgaste
Entrada de la banda	Rodillos	Misma función de contacto con la banda que la placa deslizadora, aunque de forma cilíndrica, lo cual requiere un procesado diferente Necesidades: Resistencia al desgaste, maquinabilidad
	Soporte de los rodillos	Sostienen los rodillos y los elementos de sujeción de estos. Son una chapa que a la vez va unida a la estructura Necesidades: Rigidez
	Centradores	Posicionan la banda. Se montan sobre los rodillos. Por su forma cilíndrica y el alojamiento de tornillo sin cabeza su procesado es más complejo. Necesidades: Maquinabilidad

Tabla 15. Requisitos mecánicos de cada parte

Ateniéndose a las características definidas y las necesidades de cada componente se han propuesto los siguientes materiales para cada parte de la estructura:

- F114 (Base y estructura)

Acero al carbono simple de usos generales para ser templado y revenido. Es el acero usado actualmente en la empresa para fabricar las bases de las matrices. En aplicaciones generales es un acero común para construcción general. Este tipo de acero es óptimo para la base del alimentador por su gran tamaño, resistencia y facilidad de mecanizado.

- F125 (fijación pinzas)

Acero al Cromo-Molibdeno de construcción para temple y revenido utilizado para ejes y bielas. Este acero aleado ofrece una gran resistencia para piezas sometidas a esfuerzos de fatiga que deban soportar momentos flectores fluctuantes. Es por estas características que este acero sería el apropiado para la placa de fijación de la pinza móvil así como de la pinza fija.

- F521 (Rodillos y placa deslizadora)

Acero utilizado en las matrices en los elementos que deben soportar esfuerzos que podrían desgastar la pieza. Tiene elevada resistencia al desgaste y tenacidad para aplicarlo a los rodillos de entrada y para la placa por la que debe deslizarse la banda. Es un acero especial cuyas características son de mayor calidad que las requeridas para este proyecto pero ha sido recomendado este acero por ser conocido y por su gran popularidad.

A continuación se ofrece el coste de cada acero por 1 Kg de material en base a los listones ofrecidos por los catálogos de la casa Abrams. Este valor aportará el valor de coste final de material que sumado al coste de mecanizado y al de tratamiento facilitará el valor del coste por cada pieza.

F114 (1.1730):

Material	Denominación	dimensiones	total	listón	€/Kg
F114 (1.1730)	base	700x200x10	200x35x1500	200x10x1000	5,3
	soporte pinza fija	120x120x35(2)		(119,80 €)	
	guía rolines	153x70x20		160x40x500	
	pared motor	120x120x15(2)		(94,90 €)	

Tabla 16. Obtención del coste del bruto de acero F114 según catálogo de Abrams

F521 (1.2379):

Material	Denominación	dimensiones	total	listón	€/Kg
F521 (1.2379)	placa deslizadora	153x100x6	153x120x10	125,3x10,3x500	12
	pletina	120x120x6		(65,90 €)	
	posicionador	D35x153	D35x153	D35,5x500	
	mordaza	100x50x10		(40,63 €)	

Tabla 17. Obtención del coste del bruto de acero F521 según catálogo de Abrams

F125 (1.2312):

Material	Denominación	dimensiones	total	listón	€/Kg
F125 (1.2312)	placa mesa	153x20x153	153x20x353	20,3x175,3x500	9.1
	soporte pinza móvil	153x20x100			
	fijación pinza fija			(126 €)	
	fijación motor	100x20x100			

Tabla 18. Obtención del coste del bruto de acero F125 según catálogo de Abrams

Los tratamientos para las piezas han sido reflejados en los planos habiendo sido clasificados por materiales. Para cada material se han determinado los siguientes tratamientos:

- F114 (1.1730): No se le aplica tratamiento
- F521 (1.2379): Dureza 58-60 HRC
- F125 (1.2312): Dureza 50-52 HRC

Los costes de los tratamientos junto al coste total del bruto del acero y el coste de mecanizado quedan reflejados en la tabla “coste de las piezas” en los anexos. Los valores del precio de cada tratamiento han sido determinados observando facturas de la empresa que realiza los tratamientos térmicos (METALOGRAFICA S.A.) para MATKONTAK S.L. De la misma manera, los costes de mecanizado han sido deducidos de las facturas del coste real de fabricación de piezas similares fabricadas por la empresa que realiza las piezas (MIRAMAR S.L.) para la empresa MATKONTAK S.L.

6.3.2 Uniones i montajes

Las uniones entre piezas se han llevado a cabo mediante uniones atornilladas con diferentes tipos de tornillos. Los tornillos allen DIN912 se han utilizado para las uniones cuyas cabezas de tornillos deben quedar ocultas haciendo un alojamiento en las piezas. Los allen DIN7991 se han utilizado para las uniones ocultas en piezas de pequeño espesor en las que no se podía hacer un alojamiento para las cabezas de los DIN912. Los allen DIN7380 se han utilizado para las uniones que no requerían de cabezas ocultas. La tuerca DIN934 solo se ha utilizado para hacer de tope al tornillo M8x180 que sujeta los rodillos de la entrada. Por último los pasadores DIN7979 han sido utilizados como centradores de las piezas para poder facilitar el montaje de la máquina.


	DIN 912	M6						M8		
	L (mm)	12	18	22	25	30	45	40	130	180
	cantidad	14	2	16	2	6	5	3	3	2
	€/unidad	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,1	0,15	0,84	1,62
	€/total	0,70	0,1	0,96	0,12	0,42	0,50	0,45	2,52	3,66

Tabla 19. Elementos normalizados utilizados

	DIN 934	M8		DIN 7380	M5x12
	cantidad	2		cantidad	4
	€/unidad	0,075		€/unidad	0,42
	€/total	0,15		€/total	1,68

	DIN 7979	D6x24
	cantidad	21
	€/unidad	0,52
	€/total	10,92

6.3.3 Elementos de control

- Al haber escogido la mesa lineal de la casa Bosch Rexroth, la cual ya aconsejaba un tipo de motor se ha decidido continuar con esta marca para la selección definitiva del motor y su servodrive. Para ello se ha utilizado el software “indraSize 06v04” que facilita la marca para dimensionar estos componentes:

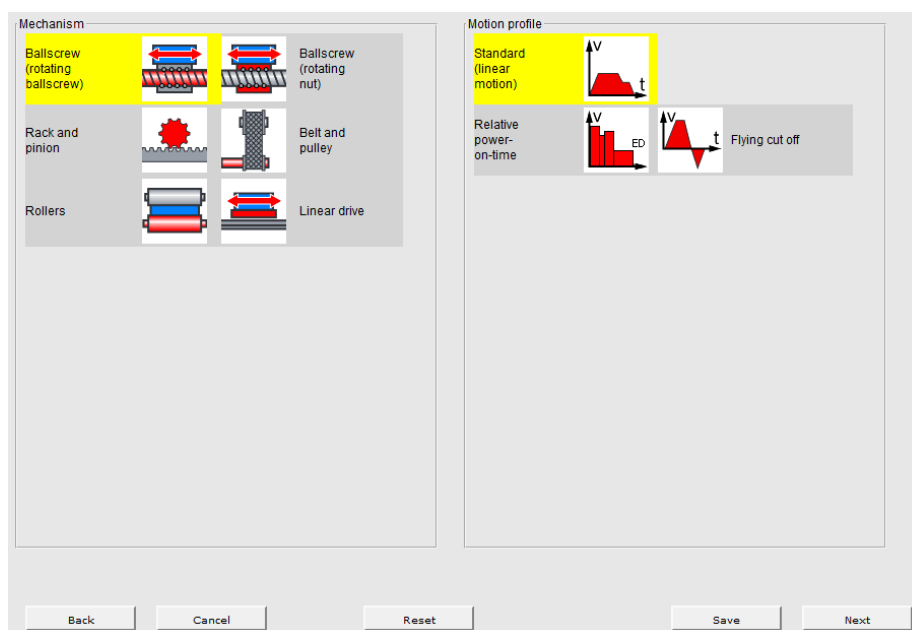


Ilustración 52. Seleccion de configuración del mecanismo y perfil de movimiento

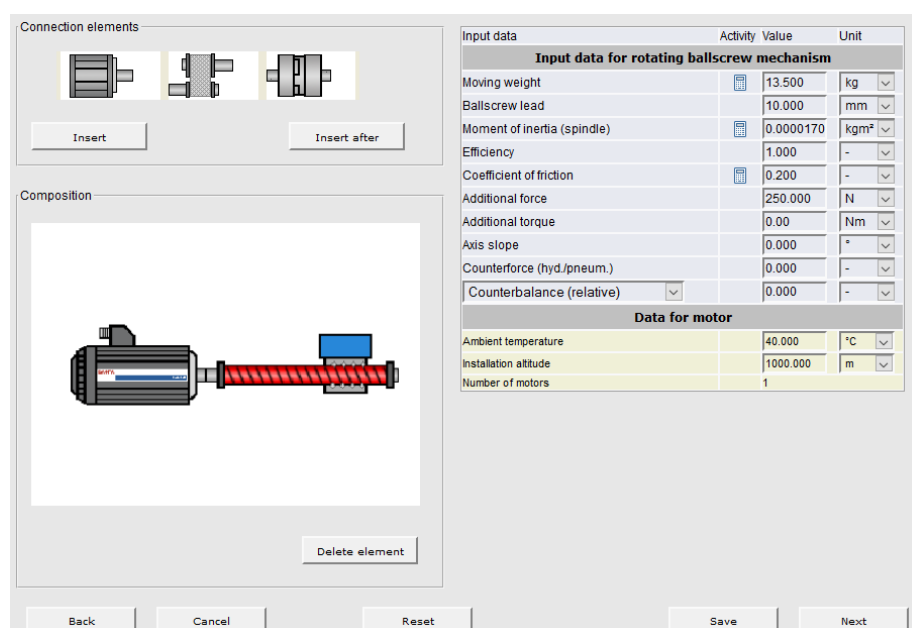


Ilustración 53. Especificaciones de carga

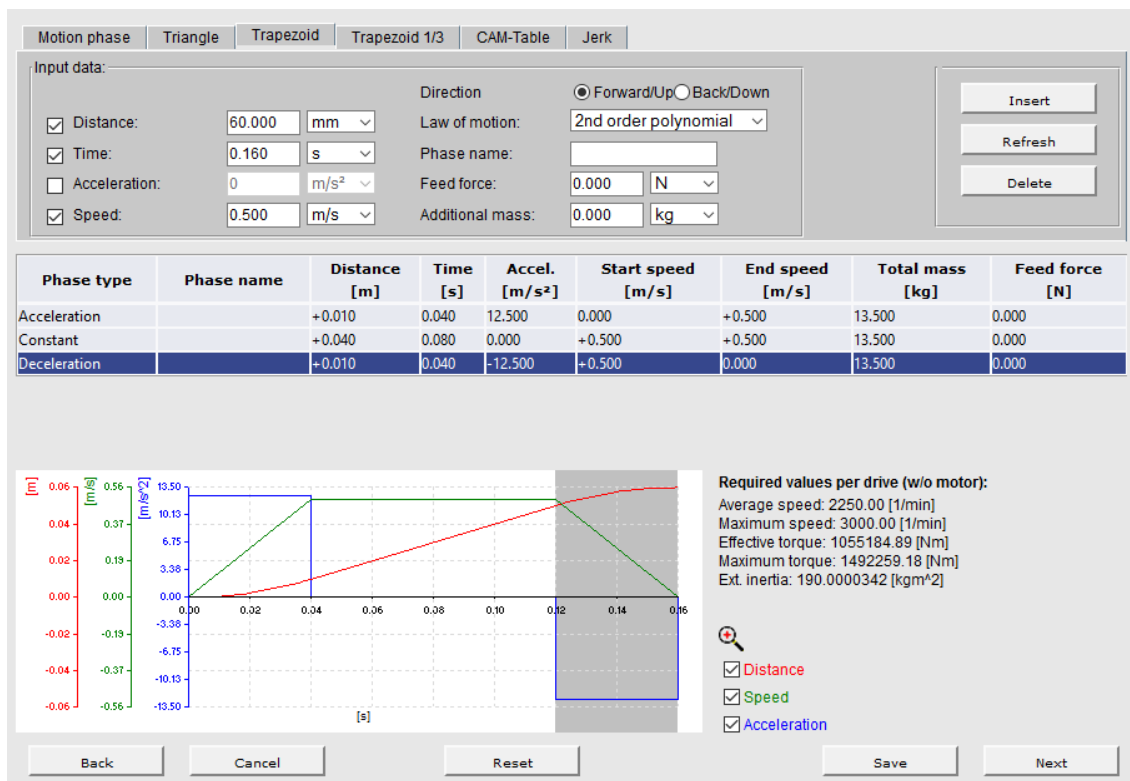


Ilustración 54. Especificación del perfil de movimiento

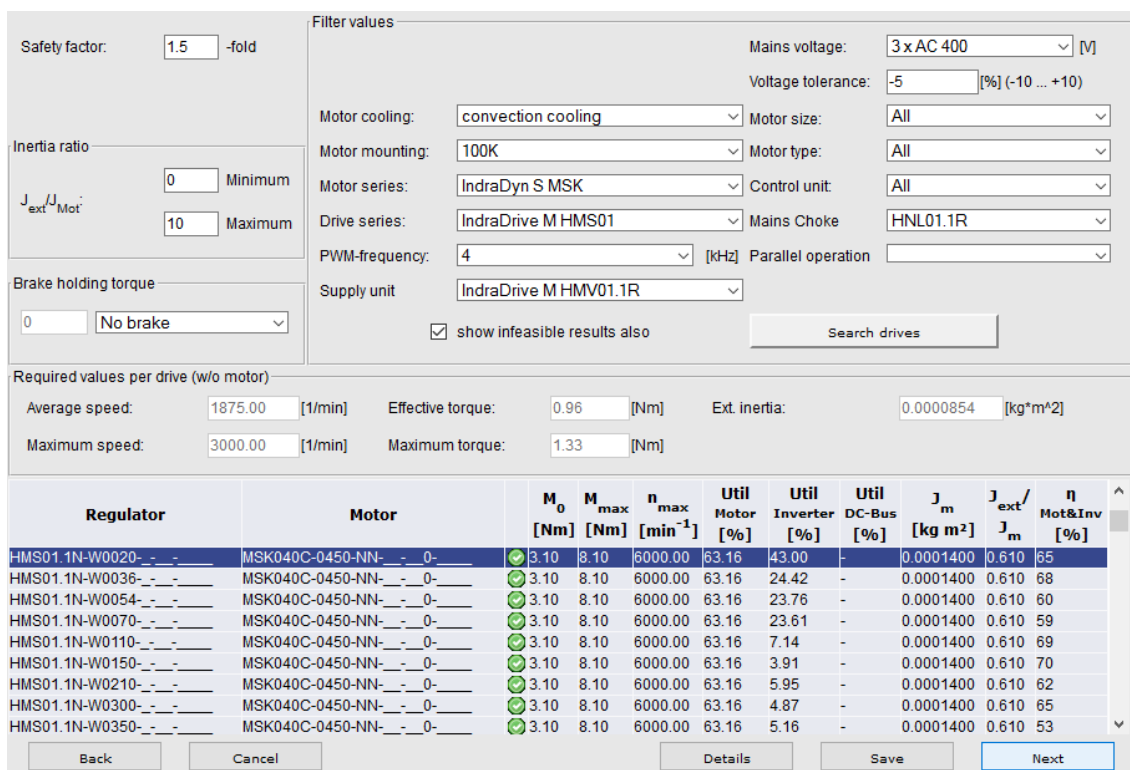
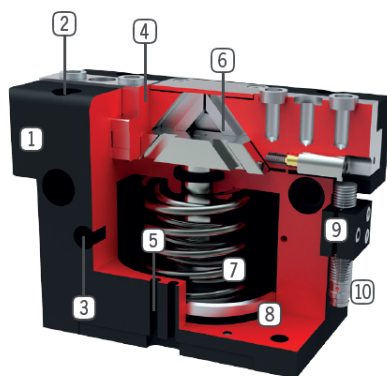


Ilustración 55. Resultados de configuraciones Regulador+Motor

6.3.4 Sensores y actuadores

PINZA ZIMMER MODELO GP408SC-C



- ① **Carcasa robusta y ligera**
- Aleación de aluminio anodizado duro
- ② **Fijación y posicionamiento**
- varios lados alternativos para un montaje individual
- ③ **Abastecimiento de energía**
- alternativamente por varios lados
- ④ **Mordazas**
- alojamiento de los dedos individuales
- ⑤ **Ranura para detectores magnéticos**
- fijación y posicionamiento de los detectores magnéticos
- ⑥ **Transmisión a través de plano inclinado con guía forzada**
- movimiento sincronizado de las mordazas
- ⑦ **Autoretención integrada**
- muelle utilizado en el cilindro como acumulador de energía
- ⑧ **Detección de la posición**
- Imán permanente para la detección directa del movimiento del émbolo
- ⑨ **Soporte de detector**
- alojamiento para detector inductivo (10)

Referencia	► Datos técnicos*					
	GP408N-C	GP408NC-C	GP408NO-C	GP408S-C	GP408SC-C	GP408SO-C
Carrera por mordaza [mm]	8	8	8	4	4	4
Fuerza de agarre al cerrar [N]	550	700		1230	1570	
Fuerza de agarre al abrir [N]	590		740	1320		1660
Fuerza de agarre mín. asegurada mediante muelles [N]		150	150		340	340
Tiempo de cierre [s]	0.04	0.03	0.05	0.04	0.03	0.05
Tiempo de apertura [s]	0.04	0.05	0.03	0.04	0.05	0.03
Precisión de repetición +/- [mm]	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Presión de servicio mín. [bar]	3	4	4	3	4	4
Presión de servicio máx. [bar]	8	8	8	8	8	8
Presión de trabajo aire de bloqueo máx. [bar]	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Temperatura de servicio mín. [°C]	5	5	5	5	5	5
Temperatura de servicio máx. [°C]	+80	+80	+80	+80	+80	+80
Volumen de cilindro por ciclo [cm³]	23.6	35.5	35.5	23.6	35.5	35.5
Peso [kg]	0.5	0.57	0.57	0.5	0.57	0.57

* Todos los datos verificados con 6 bar

Ilustración 56. Datos técnicos de la pinza

La denominación SC-C de la pinza indica que tiene una Fuerza elevada y auto retención en el cierre por muelle (SC) y que la fuerza la aplica al cerrar (C). Eso quiere decir que para la elección de la electroválvula esto se deberá tener en cuenta ya que cuando se aplique aire a presión la pinza se abrirá y cuando se deje de aplicar aire el muelle cerrará las mordazas.

SENSORES DEL ESTADO DE LAS PINZAS

En el caso de los sensores de las mordazas, el sensor mandará una señal positiva cuando detecte la mordaza, es decir, cuando la mordaza se encuentre abierta.

DETECTOR INDUCTIVO NJ8-E2S

ZIMMER
group

Referencia	NJ8-E2S
Datos generales	
Certificación	CE
Norma básica	IEC 60947-5-2
Protección según IEC 60529	IP68
Indicación de funcionamiento	SI
Seguridad contra polarización inversa	SI
Indicación de tensión de servicio	No
Resistente a cortocircuitos	SI
Datos eléctricos	
Tipo de conexión	Conector M8
Tensión de servicio asignada [V DC]	24
Tensión de aislamiento asignada [V AC]	250
Corriente de servicio asignada [mA]	200
Corriente nominal condicional de cortocircuito [A]	100
Tensión de servicio mín. [V DC]	10
Tensión de servicio máx. [V DC]	30
Versión eléctrica	CC, corriente continua
Corriente de servicio mínima [mA]	0
Capacidad de carga máx. [μF]	0.500
Corriente en vacío atenuada máx. [mA]	9.0
Corriente en vacío no atenuada máx. [mA]	3.0
Ondulación residual máx. [%]	15
Salida de conmutación	PNP
Frecuencia de conmutación [Hz]	1500
Función de conmutación	Contacto NA
Caída de la tensión [V]	2.5
Datos mecánicas	
Par de apriete [Nm]	8
Longitud de sujeción [mm]	34.1
Distancia de actuación asignada S _n [mm]	2.00
Tipo de montaje	enrasado
Material de la carcasa	Acero inoxidable
Distancia de detección asegurada S _a [mm]	1.60
Distancia de actuación real S _r [mm]	2.20
Sensor-Ø [mm]	M8x1
Tipo de conector	M8x1
Profundidad [mm]	46.0
Temperatura ambiente [°C]	-25 ... +70
Material de la superficie activa	PBT

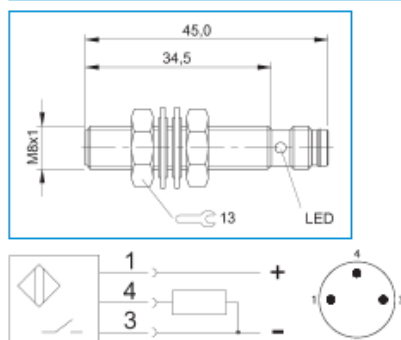


Ilustración 57. Datos técnicos del sensor de posición

LÍMITES DE CARRERA

- Límites de recorrido de la mesa lineal:

Interruptor inductivo externo e interno	
Interruptor miniatura con cable sellado en el bloque (3 x 0,14 mm ² Unitronic)	
Tipo de contacto	= NO
Minisensor	= forma A DIN 41635
Tensión continua	= 10...30 V CC
Ondulación residual	= ≤ 10%
Carga	= 200 mA
Corriente sin carga	= ≤ 20 mA
Frecuencia de conmutación	= máx. 1500 Hz
Derivación térmica del punto de detección	= ≤ 4 μm/°C
Flanco de la señal de salida	= ≥ 1 V/μs
Repetibilidad del punto de conmutación según EN 50008	= ≤ 0,1 mm

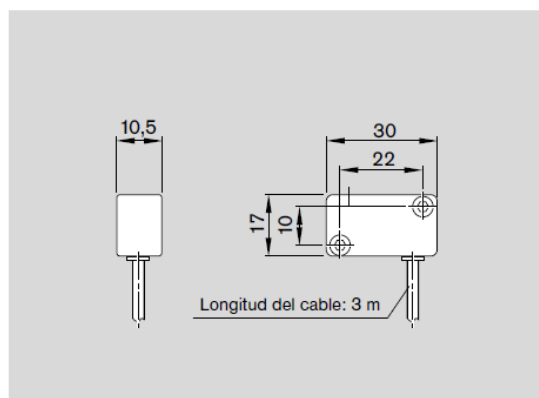


Ilustración 58. Datos técnicos de los límites de carrera

ELECTROVÁLVULA

Electroválvula FESTO 3/2 vías Normalmente abierta 173001 MOEBH-3/2-1/8-B

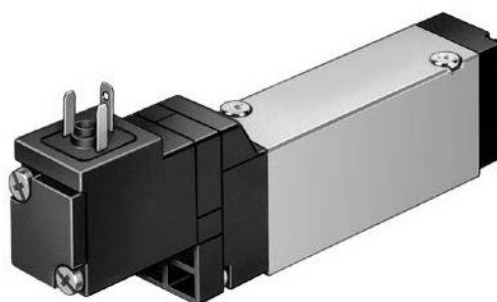
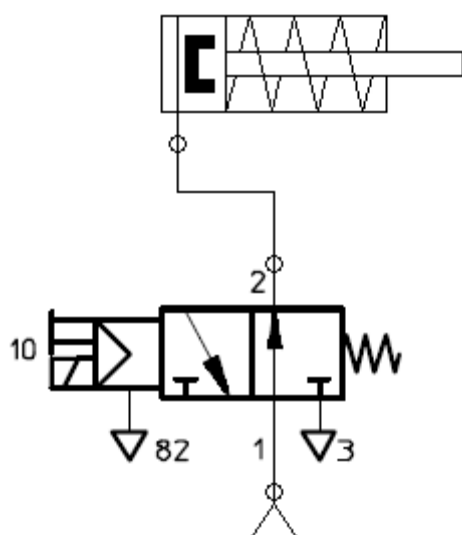


Ilustración 59. Tipo de electroválvula escogida

7 Presupuesto

Materiales y fabricación	
Concepto	Coste (€)
Piezas de la estructura	3.976,58
Elementos normalizados	22,18
Unidades de fabricantes externos	
Concepto	Coste (€)
TKK-15-155-AI-1 (con finales de carrera)	840,00
Zimmer GP408SC-C (2)	1.320,00
Electroválvulas MOEBH-3/2-1/8-B (2)	361,90
Motor MSK040C	1.080,00
Regulador HMS01.1N-W0020	1.030,00
Sensor NJ8-E2S (2)	71,80
Botonera	192,97
Instalación	
Concepto	Coste (€)
Cableado	50,00
Montaje	150,00
Puesta en marcha	100,00
Total bruto	9.195,58
Gastos adicionales 5%	459,78
TOTAL	9.655,36

Tabla 20. Tabla de presupuesto general

8 Conclusiones y desarrollo futuro

Habiendo realizado el concepto de la máquina y la selección de componentes, los siguientes pasos que se deberían llevar a cabo tendrían relación con la aplicación física del proyecto. La conversión del sistema de control a un sistema discreto sería necesaria para poder digitalizar el sistema así como el establecimiento de las comunicaciones entre el servo drive y el controlador. Sería necesario disponer de los componentes para realizar el montaje y llevar a cabo las pruebas y ensayos adecuados al sistema real para elaborar reconsideraciones o mejoras.

En el presupuesto se ha podido observar que el coste final del producto se encuentra entre el rango de precios que se había establecido en el apartado condiciones y requisitos. Esto hace que en el caso de que el producto se llevase al mercado y su funcionamiento fuera el adecuado, el artículo sería competitivo comparado con la competencia. En cuanto a reducción de costes, este factor se podría conseguir mayormente optimizando el diseño de las piezas de la estructura ya que forman el 43% del coste final, reduciendo tamaños principalmente ya que la característica que encarece el procesado de las piezas es su grosor como se refleja en el estudio económico en los anexos; cambiando de materiales a otros más económicos, realizando estudios de esfuerzos y adaptando el diseño a estos estudios.

Las consideraciones realizadas a la hora de tomar las decisiones se han llevado a cabo desde un punto de vista personal en lo que el autor de este proyecto ha considerado que serían las mejores opciones. Por ejemplo con un alimentador de rodillos se podrían haber cumplido sin ningún problema los requisitos iniciales de este proyecto, pero por una cuestión de simplificación de la programación y una visualización más clara del conjunto se decidió finalmente desarrollar el alimentador de pinzas.

En conjunto, para el autor, el proyecto ha servido además para profundizar en el diseño de máquinas sabiendo convertir datos de partida en parámetros prácticos y convenientemente para aprender sobre el control de motores mediante el uso de encoders, ya que son componentes ampliamente utilizados en la mayoría de procesos de control de sistemas de movimiento.

9 Bibliografía

Aceros. (s.f.). Obtenido de Polamalu.50webs:

http://polamalu.50webs.com/OF1/mecanica/tabla_1.htm

BRUCE GRANT, J. K. (6 de Febrero de 2019). *Why servo feed enhancements pay off*.

Obtenido de The fabricator:

<https://www.thefabricator.com/article/testingmeasuring/why-servo-feed-enhancements-pay-off>

Detección. (s.f.). Obtenido de <http://www.isa.cie.uva.es/~maria/sensores.pdf>

Ejemplo de cálculo del par motor en sistema lineal. (s.f.). Obtenido de Alciro:

http://www.alciro.org/alciro/Plotter-Router-Fresadora-CNC_1/ejemplo-calculo-par-motor-sistema-lineal_260.htm

Grant, B. (12 de Julio de 2001). *Examining press feeding options*. Obtenido de The

fabricator: <https://www.thefabricator.com/article/stamping/examining-press-feeding-options--considerations-that-determine-a-feeds-effectiveness>

Grant, B. (7 de Febrero de 2006). *Understanding press feeds*. Obtenido de The

fabricator: <https://www.thefabricator.com/article/stamping/understanding-press-feeds>

I, R. A. (8 de Octubre de 2015). *Zigzagging your way to material savings*. Obtenido de

The fabricator: <https://www.thefabricator.com/article/stamping/zigzagging-your-way-to-material-savings>

JOE FOX, M. B. (10 de Enero de 2012). *Roll reversal: From air feeds to servo roll feeds*.

Obtenido de The fabricator: <https://www.thefabricator.com/article/stamping/roll-reversal-from-air-feeds-to-servo-roll-----feeds>

LANDRY, B. (7 de Diciembre de 2004). *Finding simplicity and efficiency in servo press*

feeds. Obtenido de The fabricator: <https://www.thefabricator.com/article/stamping/finding-simplicity-and-efficiency-in-servo-press-feeds>

LOCHTEFELD, A. (19 de Febrero de 2002). *High-speed feeding techniques*. Obtenido

de The fabricator: <https://www.thefabricator.com/article/stamping/high-speed-feeding-techniques---reviewing-the-factors-that-affect-process-speeds>

- Mírez, J. (28 de Agosto de 2013). *Matlab/Simulink and control theory*. Obtenido de <https://jmirezcontrol.wordpress.com/2013/08/28/c048-diseno-de-sistemas-de-control/>
- Motion Control. (10 de Junio de 2010). *Dimensionamiento de un servo motor*. Obtenido de infoPLC: <http://www.infoplcn.net/blog4/2010/06/16/dimensionamiento-de-un-servo-motor/>
- Motion Control. (4 de Agosto de 2010). *Elementos de un servo drive*. Obtenido de infoPLC: <http://www.infoplcn.net/blog4/2010/08/04/elementos-de-un-servo-drive/>
- Romeva, C. R. (2008). *Selección de materiales en el diseño de máquinas*. Barcelona: Edicions UPC.
- ThyssenKrupp Materials Ibérica. (s.f.). Obtenido de ingemecanica: https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/aceros_construccion_ThyssenKrupp.pdf
- V. Krishnamurthy, V. S. (1978). Model reduction using the Routh stability criterion. *IEEE Transactions on Automatic Control*, Volume: 23 , Issue: 4.
- VACCA, T. (6 de Julio de 2016). Ask the Stamping Expert: How do we prevent buckling in thin material during strip feeding? (Anónimo, Entrevistador) Obtenido de The fabricator.
- VACCA, T. (2 de Abril de 2018). Ask The Stamping Expert: How can we prevent misfeeds? (Anónimo, Entrevistador)
- Ward, J. (10 de Enero de 2002). *Press feed options for stampers*. Obtenido de The fabricator: <https://www.thefabricator.com/article/stamping/press-feed-options-for-stampers>
- Ward, J. (10 de Enero de 2013). *Feed with care*. Obtenido de The fabricator: <https://www.thefabricator.com/article/stamping/feed-with-care>
- WENZEL, T. (13 de Diciembre de 2001). *Pairing a servo feed with a pull-through straightener*. Obtenido de The fabricator: <https://www.thefabricator.com/article/stamping/pairing-a-servo-feed-with-a-pull-through-straightener>